

# 刨路作業人員粉塵暴露改善措施探討

.....  
**Improvement Strategy for Pavement Milling Operating Environment**





# 刨路作業人員粉塵暴露改善措施探討

## **Improvement Strategy for Pavement Milling Operating Environment**

# 刨路作業人員粉塵暴露改善措施探討

## Improvement Strategy for Pavement Milling Operating Environment

研究主持人：洪柏宸、楊心豪

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 107 年 03 月 23 日至 107 年 12 月 31 日

**\*\*本研究報告公開予各單位參考\***  
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
中華民國 108 年 6 月

## 摘要

刨路作業過程中作業人員會暴露於粉塵與結晶型游離二氧化矽的環境中，本研究針對 15 路段刨路作業環境進行總粉塵、可呼吸性粉塵以及可呼吸性粉塵結晶型游離二氧化矽調查，同時參考美國職業安全衛生研究所(NIOSH) 提出之建議，導入水噴霧系統，評估抑制刨路作業產生之粉塵與結晶型游離二氧化矽情形。

結果顯示，在總粉塵部分，刨刀確認員、駕駛員、人孔確認員總粉塵平均濃度為  $2.66 \pm 1.71 \text{ mg/m}^3$  (平均數 $\pm$ 標準差)、 $3.54 \pm 2.50 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.76 \pm 0.59 \text{ mg/m}^3$ ，明顯高於背景區域採樣值  $0.12 \pm 0.03 \text{ mg/m}^3$  ( $p=0.008$ ;  $p=0.005$ ;  $p=0.012$ )。在可呼吸性粉塵部分，刨刀確認員、駕駛員、人孔確認員可粉塵平均濃度為  $1.16 \pm 0.77 \text{ mg/m}^3$ 、 $1.50 \pm 0.95 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.33 \pm 0.25 \text{ mg/m}^3$ ，明顯高於背景區域採樣值  $0.06 \pm 0.02 \text{ mg/m}^3$  ( $p=0.008$ ;  $p=0.005$ ;  $p=0.012$ )。另外，刨刀確認員、駕駛員總粉塵與可呼吸性粉塵暴露濃度皆高於人孔確認員。

在可呼吸性結晶型游離二氧化矽部分，刨刀確認員、駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽平均濃度為  $0.50 \pm 0.29 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.68 \pm 0.46 \text{ mg/m}^3$ ，無統計上的顯著差異。背景區域採樣和人孔確認員大部分樣本則未檢測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽。

在導入水噴霧防制系統部分，於噴水設備啟動前、啟動後，測定刨刀確認員、駕駛員之總粉塵、可呼吸性粉塵、可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露情形，結果顯示水噴霧設備對於總粉塵、可呼吸性粉塵、可呼吸性結晶型游離二氧化矽的去除效果分別為 66.2-88.2%、62.6-87.1%、>99.9%。目前在駕駛座前方與刨刀滾筒加裝噴霧系統利用 8 個噴嘴、泵浦馬力為 750W，在 70 psi 輸出壓力下，噴霧出水量為每分鐘 200 cc，對於降低或避免駕駛員、刨刀確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露是有效果。

健康問卷部分，受訪對象在曾罹患疾病方面，以曾經發生熱中暑的比率最高 (16.7%)。自覺之呼吸道健康症狀，經常及總是「鼻塞、流鼻水或鼻竇炎」比率較高 (16.7%)。口罩使用種類，以活性碳口罩最多(47.1%)，其次為布口罩(29.4%)。

由目前結果來看，水噴霧系統對於粉塵與結晶型游離二氧化矽具有抑制效能，且費用是有實際推動的可近性，但仍需進行更多測試調整及解決供電問題，以提高推廣

刨路水噴霧粉塵抑制系統的可行性；另因為刨路作業環境中存在結晶型游離二氧化矽，且可能超過容許暴露標準，若未有灑水或集塵控制措施，僅以活性碳口罩尚不足以防護，建議仍應選用更高效能之防塵口罩。

關鍵詞：刨路、總粉塵、可呼吸性粉塵、結晶型游離二氧化矽、水噴霧系統

# Abstract

Pavement milling workers are exposed to high concentration of dust and crystalline free silica during the pavement milling process. The objectives of this study are to investigate the total dust, respirable dust, and respirable crystalline free silica in the pavement milling operating environment. Fifteen road sections were selected for sampling, including those from public roads and expressways. According to the guidelines "Best Practice Engineering Control Guidelines to Control Worker Exposure to Respirable Crystalline Silica during Asphalt Pavement Milling" proposed by the National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH), a water spraying system was applied to assess the reduction of dust and respirable crystalline free silica during the pavement milling process.

The results showed that on the average, the total dust concentrations by personal samples of the cutter confirmer, driver, and manhole confirmer were  $2.66 \pm 1.71 \text{ mg/m}^3$ ,  $3.54 \pm 2.50 \text{ mg/m}^3$ , and  $0.76 \pm 0.59 \text{ mg/m}^3$  respectively. These results were significantly higher than the background concentration of  $0.12 \pm 0.03 \text{ mg/m}^3$ . The average respirable dust concentrations from the personal samples of the cutter confirmer, driver, and manhole confirmer were  $1.16 \pm 0.77 \text{ mg/m}^3$ ,  $1.50 \pm 0.95 \text{ mg/m}^3$ , and  $0.33 \pm 0.25 \text{ mg/m}^3$ . These results were also significantly higher than the background concentration of  $0.06 \pm 0.02 \text{ mg/m}^3$ . In addition, the total dust and respirable dust exposure concentrations of the cutter confirmer and driver were higher than that of the manhole confirmer.

The average respirable crystalline free silica concentration of the personal samples of the cutter confirmer and driver were  $0.50 \pm 0.29 \text{ mg/m}^3$  and  $0.68 \pm 0.46 \text{ mg/m}^3$ . The concentrations of the background area samples and personal samples of the manhole confirmer were not detected for respirable crystalline free silica.

The reduction in concentration of total dust, respirable dust and respirable crystalline free silica by the water spraying equipment were 66.2 to 88.2%, 62.6 to 87.1% and greater than 99.9% respectively. The water spraying equipment is installed in front of the driver and beside the cutter drum, using 8 nozzles with a pump horsepower of 750W, at 70 psi output pressure and 200 cc per minute. It shows a significant inhibitory effect on the concentration of the dust and respirable crystalline free silica.

According to the results from health questionnaires, the illness with the highest rate of

occurrence was heat stroke at 16.7%. Main respiratory symptoms that respondents were aware of were nasal congestion, running nose, or sinusitis (16.7%). Active carbon masks (47.1%) and cloth masks (29.4%) were mainly chosen for protection in the operating process.

Based on the results of the study, the water spray system has the effect of suppressing the dust and the crystalline free silica, and the cost is feasible for implementation in practice. However, more adjustments to the test and power supply problems still need to be carried out, which can improve the feasibility of promoting the water spray system in the pavement milling operating process. Because workers in the pavement milling operating process may be exposed to crystalline free silica exposure over permissible exposure limit, it is recommended that the workers for such operations should wear protective masks that perform better than those currently used.

Keywords: Pavement milling, Total dust, Respirable dust, Crystalline free silica, Water spraying system

# 目次

摘要.....	i
Abstract.....	iii
目次.....	v
圖目次.....	vii
表目次.....	viii
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 工作項目.....	1
第二章 文獻回顧.....	3
第一節 刨路作業相關行業別.....	3
第二節 道路鋪面特性.....	4
第三節 瀝青混凝土道路鋪面各層組成.....	7
第四節 刨路作業流程.....	11
第五節 結晶型游離二氧化矽特性與危害.....	14
第六節 道路建築工人作業危害種類.....	17
第七節 刨路相關道路施作人員粉塵、結晶型游離二氧化矽暴露之相關研究.....	18
第八節 刨路作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露控制.....	21
第九節 國內外結晶型游離二氧化矽容許暴露標準.....	27
第三章 工作方法與流程.....	29
第一節 作業環境選定.....	29
第二節 目標刨路作業環境粉塵監測策略.....	30
第三節 刨路作業環境總粉塵與可呼吸粉塵採樣分析方法.....	33
第四節 刨路作業環境可呼吸性粉塵中結晶型游離二氧化矽採樣分析方法.....	34
第五節 刨路作業導入防制措施.....	36
第六節 健康問卷及統計分析方法.....	38
第四章 結果與討論.....	40

第一節 刨路作業粉塵採樣結果 .....	40
第二節 刨路作業水噴霧系統抑制測試結果 .....	54
第三節 健康問卷資料分析結果 .....	60
第四節 刨路作業環境粉塵濃度之比較 .....	65
第五章 結論與建議 .....	71
第一節 結論 .....	71
第二節 建議 .....	72
誌謝 .....	73
參考文獻 .....	74
附錄一 .....	80

# 圖目次

圖 1 典型之瀝青路面結構圖[8] .....	6
圖 2 刨除機示意圖 .....	13
圖 3 現場刨路作業圖 .....	14
圖 4 銑刨機上的抽風櫃和沉降箱 (圖片來源 NIOSH) .....	23
圖 5 水噴在滾筒來冷卻用來切割路面的鑽頭。當鑽頭切割路面時，水會和被移除的瀝青路面材料混合 (圖片來源 NIOSH) .....	24
圖 6 在路面銑刨機研究期間使用水流量計和壓力錶 (圖片來源 NIOSH) .....	26
圖 7 刨路工程作業現場圖 .....	30
圖 8 個人採樣示意圖 .....	32
圖 9 區域採樣示意圖 .....	32
圖 10 模組 1 水噴霧系統 .....	36
圖 11 模組 1 水噴霧系統於實際刨路應用 .....	37
圖 12 模組 2 水噴霧系統 .....	38
圖 13 模組 2 水噴霧系統於實際刨路應用 .....	38

# 表目次

表 1 土木工程業之各業受僱員工.....	3
表 2 台灣瀝青混凝土路面主要構造[8].....	6
表 3 礦物填縫料級配表.....	8
表 4 油溶瀝青加熱溫度.....	9
表 5 乳化瀝青澆鋪溫度.....	9
表 6 四種建築工作人員可呼吸性粉塵及結晶型游離二氧化矽暴露情形.....	19
表 7 不同作業下結晶型游離二氧化矽暴露情形.....	19
表 8 不同作業人員可呼吸性粉塵與結晶型游離二氧化矽暴露情形[34].....	20
表 9 空氣中粉塵容許濃度表.....	28
表 10 各國結晶型游離二氧化矽規範之容許濃度[34].....	28
表 11 採樣路段說明.....	29
表 12 刨路路線 1 作業環境與作業人員粉塵濃度表.....	40
表 13 刨路路線 1 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表.....	41
表 14 刨路路線 2 作業環境與作業人員粉塵濃度表.....	42
表 15 刨路路線 2 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表.....	42
表 16 刨路路線 3 作業環境與作業人員粉塵濃度表.....	43
表 17 刨路路線 3 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表.....	44
表 18 刨路路線 4 作業環境與作業人員粉塵濃度表.....	45
表 19 刨路路線 4 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表.....	45
表 20 刨路路線 5 作業環境與作業人員粉塵濃度表.....	46
表 21 刨路路線 5 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表.....	46
表 22 刨路路線 6 作業環境與作業人員粉塵濃度表.....	47
表 23 刨路路線 6 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表.....	47
表 24 刨路路線 7 作業環境與作業人員粉塵濃度表.....	48
表 25 刨路路線 7 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表.....	49
表 26 刨路路線 8 作業環境與作業人員粉塵濃度表.....	49

表 27 刨路路線 8 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表 .....	50
表 28 刨路路線 9 作業環境與作業人員粉塵濃度表 .....	51
表 29 刨路路線 9 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表 .....	51
表 30 刨路路線 10 作業環境與作業人員粉塵濃度表 .....	52
表 31 刨路路線 10 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表 .....	53
表 32 刨路路線 11 作業環境與作業人員粉塵濃度表 .....	54
表 33 刨路路線 11 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表 .....	54
表 34 刨路路線 12-15 粉塵防制措施導入基本資料表 .....	55
表 35 刨路路線 12 作業環境與作業人員粉塵濃度表 .....	56
表 36 刨路路線 12 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表 .....	56
表 37 刨路路線 13 作業環境與作業人員粉塵濃度表 .....	58
表 38 刨路路線 13 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表 .....	58
表 39 刨路路線 14 作業環境與作業人員粉塵濃度表 .....	58
表 40 刨路路線 14 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表 .....	59
表 41 刨路路線 15 作業環境與作業人員粉塵濃度表 .....	60
表 42 刨路路線 15 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表 .....	60
表 43 受訪對象之基本資料(n=30) .....	61
表 44 受訪對象之健康狀況(n=30) .....	62
表 45 受訪對象自覺之健康症狀(n=30) .....	63
表 46 受訪對象工作時之個人防護情形(n=30) .....	64
表 47 受訪對象過去一個月在工作時對刨路作業環境的自覺感受(n=30) .....	65
表 48 作業人員對工作環境整體滿意度 .....	65
表 49 彙整各刨路路段總粉塵、可呼吸性粉塵濃度 .....	66
表 50 彙整各刨路路段可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度 .....	67
表 51 刨路作業人員總粉塵、可呼吸性粉塵和可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度之比較 .....	68
表 52 噴水防制設備對於刨除作業人員總粉塵、可呼吸性粉塵和可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露去除之效果 .....	69



# 第一章 計畫概述

## 第一節 前言

當舊有瀝青混凝土面層因表面老化、車轍、龜裂、鬆散、推擠、磨耗、變形或為改善路面淨高，一般在加鋪新面層之前，會將原有表面刨除瀝青混凝土面層進行刨除作業後再加鋪。根據國外文獻銑刨作業過程中會暴露於結晶型游離二氧化矽環境中，若在這樣的環境工作 8-10 小時，可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有可能高達美國 NIOSH 建議暴露限值(REL)0.05 mg/m<sup>3</sup> 的 280 倍，而目前這個暴露限值已被美國 OSHA 採用並於 2017 年(營造業)和 2018 年(其他一般行業)開始執行。

結晶型游離二氧化矽對人體健康具有危害性，慢性職業暴露結晶型二氧化矽可能會造成矽肺症[1]、慢性阻塞性肺病、慢性支氣管炎、肺氣腫、小氣道疾病(病變)[2]、肺結核/矽肺結核病[3]、自體免疫疾病(類風濕性關節炎、硬皮症、紅斑性狼瘡)[4]和腎臟疾病[5]。急性職業暴露高濃度的結晶型二氧化矽會引起咳嗽、呼吸急促、肺泡內脂蛋白堆積現象[6]。國際癌症研究中心(The International Agency for Research on Cancer; IARC)經多年研究已證實結晶型游離二氧化矽之致癌性[7]。

過去勞動部勞動及職業安全衛生研究所研究發現翻修柏油勞工總粉塵濃度暴露可能未超第四種粉塵容許濃度，但尚未了解刨路作業勞工可能結晶型游離二氧化矽潛在危害及防護管理資訊。有鑑於此，實有必要對國內刨路相關作業暴露情形進行調查，並參考國外管理及技術資訊分析評估可能改善策略，提供作業參考應用。因此本計畫進行刨路作業現場環境(包含相關作業模式、濃度評估、防護情形)及作業人員問卷調查，並研擬導入改善策略進行評估。

## 第二節 工作項目

本計畫針對刨路作業環境進行粉塵與結晶型游離二氧化矽之現場調查(包含相關作業模式、濃度評估、防護情形)，分析其危害與改善策略，建立相關改善技術。整體工作項目如下，

一、 收集及整理道路保養及修護、路面鋪設工程產業現況資料，以及作業環境職業暴

露相關文獻資料、及國外刨路作業游離二氧化矽控制方法。

- 二、洽談事業單位同意後作為合作調查對象，進行 15 場次道路銑刨作業環境(包含一般道路及快速道路)測定(項目包含總粉塵及可呼吸性粉塵、結晶型二氧化矽)。
- 三、問卷調查：進行勞工職業衛生問卷(人口學資料、工作環境與疾病史、自覺症狀、工作防護情形等)調查 30 份，分析結果瞭解健康狀況或其危害因子。
- 四、參考美國職業安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health,NIOSH) “Best Practice Engineering Control Guidelines to Control Worker Exposure to Respirable Crystalline Silica during Asphalt Pavement Milling”，視現場作業研擬導入改善策略進行相關評估，於前述 15 場次中進行 4 場次作業環境改善策略評估。

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 刨路作業相關行業別

刨路作業相關行業主要為道路養路與道路鋪設工程之行業，若根據行政院主計處行業標準分類定義第 10 次修訂版(2016 年 1 月)，屬於行業中類代碼 F 大類之「營建工程業」，其中 42 中類之「土木工程業」，421 小類之「道路工程業」，4210 細類中「道路工程業」之「路面鋪設工程」與「道路保養及修護」。就定義來看，道路工程業定義為從事鐵路、道路及其附屬設施、隧道、地下道、橋樑等工程興建、改建、修繕等之行業；道路標示工程亦歸入本類。

由於目前勞動部職類類別薪資調查動態查詢中，並未有道路工程業之細項，僅有其大項土木工程業，因此僅能彙整土木工程業類別情況。依勞動部職類類別薪資調查動態查詢，106 年 7 月資料顯示土木工程業受僱員工人數為 82,073 人，主管及監督人員占 3,729 人、專業人員 3,838 人、技術員及助理專業人員 7,956 人、事務支援人員 4,585 人、技藝、機械設備操作及組裝人員 42,746 人及基層技術工及勞力工 19,123 人，整體彙整如表 1。

表 1 土木工程業之各業受僱員工

土木工程業受僱員工(人數)(106 年 7 月)(單位：人)	
職業別	土木工程業(人數)
總計	82,073
主管及監督人員	3,729
專業人員	3,838
技術員及助理專業人員	7,956
事務支援人員	4,585
技藝、機械設備操作及組裝人員	42,746
基層技術工及勞力工	19,123

## 第二節 道路鋪面特性

道路「鋪面」，可依其部位區分為上下兩部分，上為表層、下為基層。表層通常為「耐磨材」，如面磚、石材、木材或其他的面材；而基層通常為「承載層」，如砂石、級配、混凝土等。鋪面即是指用來覆蓋地面的材質，以保護地面避免風沙飛揚、雜草叢生。公路運輸中之車道暢通、舒適及有效經濟利用，必須以堅實的「鋪面」代替鬆軟的土壤，且以平順的公路表面代替崎嶇不平的原路面。

### 一、鋪面材料

- (一) 磚：地磚有表面是上釉的稱為「油面磚」，大多用於戶內；沒有上釉的叫做「素面磚」，大多用於戶外。條磚是較現在的磚塊稍小些，大多用於戶外。
- (二) 水泥混凝土：是以水泥(或水泥加適量活性摻合料)為膠凝材料，與水和粗、細骨料等材料按適當比例配合拌製成拌合物，再經澆築成型硬化後得到的人造石材。
- (三) 瀝青混凝土：為臺灣地區路面之主流，瀝青是碳氫化合物，含烷、烯及芳香族，可為固體、半固體、液體或氣體，是營建工程上的膠結材料。其優點如下，
  1. 施工鋪設簡易，且甚為迅速，無須養護即可使用。
  2. 填加石材骨料可抗磨耗，且具有延展性，在一定時效內有防止龜裂效果。
  3. 具防水效果，可作為不透水鋪面。
  4. 可抗冰溶侵蝕及耐酸鹼侵蝕。

### 二、鋪面種類

常用的鋪面種類，依據面層採用的材料分為碎石鋪面、瀝青混凝土鋪面及波特蘭水泥混凝土鋪面等三者，後兩者屬於高級鋪面(High Type Pavement)。

#### (一) 碎石鋪面(Broken Stone Road)

利用碎石材料分一層或多層鋪築而成，以石粉及水為黏結料，黏結碎石及填實碎石間空隙，以壓路機輾壓堅實。

#### (二) 瀝青混凝土鋪面(Asphalt Concrete Pavement)

指基底層用碎石級配或處理材料及面層用瀝青混凝土鋪築而成，鋪面結構由下而上分為路基、基層、底層及面層等組成，以壓路機輾壓堅實。

### (三) 波特蘭水泥混凝土鋪面(Portland Cement Concrete Pavement)

指基層用碎石級配料及或處理材料及面層用水泥混凝土鋪築而成，鋪面結構由下而上分為路基、基(底)層及面層等組成；基層用壓路機輾壓堅實，面層澆置水泥混凝土時要擣實。

我國主要道路路面依使用材料可分為「瀝青混凝土路面」(簡稱：瀝青路面)與「水泥混凝土路面」(簡稱：水泥路面)兩大類，若以力學性質而言，又可區分為「柔性路面」(瀝青路面)及「剛性路面」(水泥路面)兩大類。瀝青混凝土鋪面結構包含鋪設於路基上之基層、底層、面層，其層次及鋪築材料係由設計者依照當地條件而選定，惟原則需符合所採用設計方法之規定，其瀝青混凝土鋪面設計規範參照交通部頒布之「柔性鋪面設計規範」；水泥混凝土鋪面結構包含鋪設於路基上之水泥混凝土面層及級配料底層，水泥混凝土鋪面設計其厚度及接縫設計，參考美國州公路及運輸官員協會(AASHTO)設計法作為設計參考之依據。我國各級道路普遍使用瀝青路面(柔性鋪面)，以下僅說明瀝青路面部分。

瀝青路面係採多層設計，由下往上分別有路基(subgrade)(又稱路床)、基層(subbase course)、底層(base course)及面層(surface course)，面層之上可依需要鋪設磨擦層，通常不作為路面結構厚度之一部分(參見圖 1 及表 2)。路基為工地原有或人工填築之土壤基礎，基層、底層及面層三部分稱為瀝青路面結構。工程司可依需要作適當之調整設計，例如可不設基層，亦有同時不設基層及底層者。越上層所受應力越大，需要越高品質之材料。

就目前台灣瀝青混凝土鋪面來講(如表 2 所示)，一般道路主要鋪面到瀝青混凝土面層，而在高速公路與快速道路部分在瀝青混凝土面層上還有瀝青黏層與開放級配磨擦層，在快速道路上開放級配磨擦層主要為改質式瀝青混凝土；在高速公路部分則是透水性瀝青混凝土[8]。



圖 1 典型之瀝青路面結構圖[8]

表 2 台灣瀝青混凝土路面主要構造[8]

層次名稱	厚度	用途	備註
開放級配磨擦層	約 1.5cm，國道 6 號為 3 cm	提高摩擦力、減少下雨產生水膜、增加行車安全	目前僅高速公路鋪設
瀝青黏層	不規定厚度，規定噴灑若干 L/m <sup>2</sup>	界面粘結	鋪設磨擦層時才施作
瀝青混凝土面層	約 5~30 cm	直接承受車輛荷重、提供摩擦力、減少水分及空氣滲入路面	目前高速公路以外之道路鋪設至此層
瀝青黏層	不規定厚度，規定噴灑若干 L/m <sup>2</sup>	界面粘結	瀝青面層及瀝青底層分層鋪築、加封時使用
瀝青混凝土底層(聯結層)	約 10~30 cm	承受面層傳遞來之應力，並加以分散傳送給級配粒料底層	部分地方道路不設此層
瀝青透層	不規定厚度，規定噴灑若干 L/m <sup>2</sup>	粘結級配粒料底層表面若干厚度之粒料、減少毛細水上升	噴灑於級配粒料底層之上，並滲入
級配粒料底層	約 20~40 cm	承受瀝青混凝土底層傳遞來之應力，並加以分散傳送給基層或路基	
級配粒料基層	50~100 cm	承受級配粒料基層傳遞來之應力，並加以分散傳送給路基	依設計之需要鋪設，常設於橋台背等高填方處，目前砂石料缺乏已減少採用此層
路基		承受總荷重	

### 第三節 瀝青混凝土道路鋪面各層組成

前一節說明可知，目前台灣主要的道路鋪面是採用瀝青混凝土鋪面，由文獻可知鋪面內包含不同的結構層，而在目前刨路工程中會被刨除的部分主要為開放級配磨擦層、瀝青黏層以及瀝青混凝土面層等，以下即針各層組成成分進行說明。

#### 一、瀝青混凝土層成分組成[9]

瀝青混凝土係將加熱之粗粒料、細粒料、瀝青膠泥及乾燥之礦物填縫料，按配合設計所定配合比例拌和均勻後，依設計圖說所示之線形、坡度、高程及橫斷面，分一層或數層鋪築於已整理完成之底層、基層、路基或經整修後之原有面層上，滾壓至所規定之壓實度而成者。

##### (一) 瀝青材料

用於瀝青混凝土路面之瀝青材料均為瀝青膠泥。

1. 黏度分類：AC-5、AC-10 與 AC-20。
2. 黏度分類必須符合 AASHTO M226、ASTM D3381 與 CNS 15073 之規定。

##### (二) 粒料

粒料材料若無特別規定得採用爐渣或再生粒料時，則以天然或碎石級配粒料為限。

1. 粗粒料：
  - (1) 停留於 2.36mm 篩上者，應為優良之石材如花崗岩、石英岩、片麻岩、河床礫石等軋製之碎石或再生粒料，須潔淨、質地堅硬、緻密、耐磨及級配良好者，且不得含有易於風化之顆粒及泥土、黏土、有機物、其他有工程品質及功能之有害物，並應具有與瀝青材料混合後，雖遇水而瀝青不致剝落之性能。
  - (2) 以重量計，粗粒料中至少應有 75% 為碎石顆粒，且扁平狹長之顆粒，寬度與厚度之比或長度與寬度之比大於 3 者不得超過 10%。
  - (3) 粗粒料依 CNS 490 規範，經洛杉磯磨損試驗 500 轉後之磨損率，用於底層、聯結層及整平層者不得大於 50%，用於磨耗層者不得大於 35% 及面層者不得大於 40%。

(4) 粗粒料依 CNS 1167 與 AASHTO T104 試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗結果，硫酸鈉溶液之方法其重量損失不得大於 12%；硫酸鎂溶液之方法其重量損失不得大於 18%。

(5) 粗粒料其餘物理性質，應符合 CNS 15308 與 ASTM D692 之規定。

2. 細粒料：

(1) 細粒料通過 2.36 mm 篩者，包括石屑、天然砂或兩者之混合物或再生粒料，須潔淨、質地堅硬、緻密、顆粒富有稜角、表面粗糙及不含有有機土、黏土、黏土質沉泥、有機物、其他有礙本工程之品質及功能之有害物，且導入拌和機時不得有結塊之情形。

(2) 細粒料依 CNS 1167 與 AASHTO T104 試驗法，經 5 次循環之硫酸鈉健度試驗結果，其重量損失不得大於 15%。

(3) 如需用二種以上不同來源之細粒料時，應分別堆放，其混合程序應在冷料供應系統上完成，不得在粒料堆放場所混合。

(三) 礦物填縫料 (Mineral Filler)

1. 礦物填縫料，係指通過 0.60 mm 篩之細料，於粗、細粒料經混合結果缺少通過 0.075 mm 篩之材料時使用之(表 3)。

2. 礦物填縫料可用完全乾燥之石灰、礦物填縫料末或水泥；或其他經工程司認可之塑性指數小於 4 之無機物粉末，惟不得含有塊狀物，其級配應符合下表之規定。

表 3 礦物填縫料級配表

試驗篩 (mm)	通過方孔試驗篩之重量百分率
0.60 (No. 30)	100
0.30 (No. 50)	95~100
0.075 (No.200)	70~100

(四) 防剝劑

瀝青混凝土中如須摻加防剝劑時，需經核可後方可使用。

二、密級配改質瀝青混凝土層成分組成[10]

道路鋪面之瀝青混凝土層主要包含填充料、粒料、瀝青膠泥與孔隙，其瀝青凝

土一如前節所述，係由粗粒料、細粒料、填充料及地瀝青膠泥或經添加材料改善之瀝青膠泥等，經加熱後依比例混合而成，其中所使用材料之材質均須符合規範需求外，混合料的各項性質才是主要影響路面品質的因素。以其混合及不同性質之瀝青膠泥可組成密級配(DGAC)、開放級配(OGAC)、多孔隙(PAC)及石膠泥(SMA)等，各種混合類均有其對應之規範要。以下即針對各種成分進行說明。

(一) 瀝青材料

瀝青材料種類分為三種，一為新建鋪面之透層適用油溶瀝青；另一為加鋪面層之黏層適用乳化瀝青；第三為改質瀝青混凝土適用之改質瀝青。

1. 油溶瀝青可用於透層之油溶瀝青材料有 RC-70、RC-250、MC-30、MC-70 及 MC-250 等。瀝青材料之使用溫度應符合表 4 規定。瀝青材料加熱時之最高溫度不得超過瀝青材料發生冒煙現象時之溫度，如超過該溫度時應予廢棄，不得使用。
2. 乳化瀝青可用於黏層之乳化瀝青材料有 SS-1、SS-1h、CSS-1、CSS1h 及 RS-1、CRS-1，其實際所用瀝青材料之種類，等級及規格等，瀝青材料之使用溫度應符合表 5 規定。
3. 改質瀝青用於改質瀝青混凝土鋪面之瀝青材料應添加聚合物改質劑對基底瀝青改質並使用合適分散劑、穩定劑等以防止離析之改質瀝青。

表 4 油溶瀝青加熱溫度

瀝青等級	加熱溫度(°C)
RC-70	50 以上
RC-250	75 以上
MC-30	30 以上
MC-70	50 以上
MC-250	75 以上

表 5 乳化瀝青澆鋪溫度

瀝青等級	澆鋪溫度(°C)
SS-1、SS-1h、CSS-1、CSS-1h	24~55
RS-1	20~60
CRS-1	50~85

以上三種類型瀝青其實際所使用之種類及規格，應符合設計圖及特定條款之規定，或依監造人員之指示辦理，包含實際使用溫度。

## (二) 料粒材料

瀝青混凝土之組合成分中，粗、細粒料約佔其總體重量之 90~95%(若以體積來看約 80%~85%)，是瀝青混凝土承重之骨幹，擔任提供主要體積、承載荷重、抵抗變形、產生抗滑表面等作用，故又稱為骨材。粗粒料與細粒料應為潔淨，不含分解材料、植物及其他有害物質。

骨材料粒若依其粒徑之大小分，則可分為粗骨材及細骨材兩大類(依目前瀝青材骨材分類有 8 分石、6 分石、3 分石、2 分石及砂)。以下為粗細料粒之說明。

### 1. 停留於 No.4 篩以上之材料為粗粒料：

- (1) 粗粒料之組成，至少應有 90%之重量比為碎石顆粒材料，且每顆碎石顆粒至少應具有 2 個破碎面。
- (2) 依照 CNS 490 之規定，旋轉 500 轉後，其磨損率不得大於 40%(開放級配不得大於 35%)。
- (3) 依照 CNS 1167，經過五循環的硫酸鈉健度試驗，其重量損失不得大於 9%。
- (4) 粗粒料吸水率不得大於 2%。
- (5) 粗粒料顆粒，應避免細長材料，顆粒之長大於寬或寬大於厚或長大於厚之 3 倍而佔有重量比 10% (開放級配為 7%)以上之粗粒料應拒絕使用。

### 2. 通過 No.4 篩之材料為細粒料：

- (1) 細粒料應包括天然砂、過篩碎石砂，或兩者之混合物。
- (2) 通過 No.4 篩，而停留於 No.8 篩之碎粒，其含量以重量百分比計，不得小於 50%。
- (3) 拌合料之含砂當量至少為 45 以上。

## (三) 填充料

使瀝青混凝土空隙得到適當填充之材料，顧名思義是用來填充瀝青混凝土之空隙。填充料主要為石灰石粉末、水泥或其他不起化學作用，非塑性或 PI。加入填充料

之數量應使組成級配料符合拌合料之級配條件，但無論如何加入填充料之重量不得超過拌合料之 7%。

### 三、瀝青黏層[11]

在瀝青混凝土或底層、水泥混凝土鋪面上澆置一層瀝青黏層材料，以備鋪築另外一層不同之規格之瀝青混凝土。

#### (一) 瀝青材料

1. 快凝(Rapid Curing)油溶瀝青以 RC 表示，快凝油溶瀝青可分為 RC-70、RC-250、RC-800、RC-3000]，常用者為 RC-70。
2. 以水稀釋之乳化瀝青，其最普遍者為 SS-1、CSS-1 及 CSS-1h，惟在某些地區亦可使用不稀釋之 RS-1 及 CRS-1，其實際所用瀝青材料之種類、等級及規格等。

黏層瀝青加熱溫度規範如后，

1. RC-70 為 40~80°C。
2. RC-250 為 60~105°C。
3. RC-800 為 80~125°C。
4. RC-3000 為 100~145°C。
5. SS-1、CSS-1 及 CSS-1h 為 24~55°C。
6. RS-1 為 20~60°C。
7. CRS-1 為 50~85°C。

## 第四節 刨路作業流程

刨路作業不論在一般道路、快速道路或是高速公路均是針對瀝青混凝土層進行刨除，而且刨除深度均有限制，不能刨除太深避免刨除至單純混凝土層，以下即針對刨除作業流程進行說明。

### 一、瀝青混凝土面層刨除

#### (一) 瀝青混凝土面層刨除作業之定義

瀝青混凝土面層刨除作業，係指瀝青混凝土面層因表面老化、車轍、龜裂、鬆散、推擠、磨耗、變型、改善路面淨高及經道路服務指數評估結果需作加鋪面層改

善，在加鋪新面層之前，將原有表面刨除。

## (二) 瀝青混凝土面層刨除作業之施工方法

1. 注意刨除作業中是否有面層滑動，不正常鬆裂。
2. 遇有混凝土結構面或其邊緣，刨路機無法施工時應改用人工清除。
3. 路面上之設施應適當保護，不得破壞。
4. 路面刨除後如有行車安全之虞者，應設置安全措施。
5. 橋面進行刨除時，為避免刨除料掉入橋梁伸縮縫及排水孔，於進行刨除作業前，應以膠布完全密貼於橋梁伸縮縫及排水孔上，待路面刨除完成及清掃乾淨後，除去膠布。
6. 刨除機施工時不得使用加熱器加熱路面助刨，以免發生危險、污染空氣及損害地下設施。
7. 刨除機施工時應安排專人指揮交通，以維持施工範圍周邊交通安全及秩序。

## (三) 刨除料處理

1. 刨除面層料如指定做為再生瀝青混凝土之用，應保持乾淨不得與垃圾土石及其他廢料混雜。
2. 刨除後路面應清潔乾淨。
3. 刨除前應擬施工計畫，並依該計畫所擬刨除進度提出刨除料流向管制證明文件；該證明文件應記錄對於刨除料送往屬台灣區瀝青工業同業公會會員之再生瀝青混凝土拌合廠之名稱、日期、數量、再生用途。
4. 刨除後如含 AC 鋪築按「瀝青黏層」、「瀝青混凝土鋪面」規定辦理。

## (四) 刨路厚度與寬度規定

刨除之面層厚度，每次刨除之厚度不得超過 10 公分。刨除之厚度以鉋刀痕跡之平均平面為準。刨除完工後其坡度及橫斷面許可差不得超過 0.5cm，但原面層之凹陷如已超過規定高程，不在此限。刨除寬度為刨除分路面全寬刨除，車轍縱線刨除，指定寬度刨除，指定面積刨除及坡度修順。刨除之寬度許可差不得小於設計寬，不得大於 10cm。

## (五) 刨路機刨除原理

主要結構及工作原理一般刨路機由發動機、車架、銑削轉子、銑削深度調節裝置、液壓元件、集料輸送裝置、轉向系及制動系等組成。銑削轉子是銑刨機的主要工作部件，它由銑削轉子軸、刀座和刀頭等組成，直接與路面接觸，通過其高速旋轉的銑刀進行工作而達到銑削的目的。刨路機上設有自動調平裝置，以銑削轉子側蓋作為銑削基準面，控制兩個定位液壓缸，使所給定的銑削深度保持恒定；其液壓系統用來驅動銑削轉子旋轉、整機行走、輔助裝置工作等，一般為多泵相互獨立的閉式液壓系統，工作時互不干擾且可靠性較高；有的刨路機根據需要安裝傾斜調整器，用來控制轉子的傾斜度；一般大型刨路機都有由傳送帶和集料器組成的集料輸送裝置，它可將銑削出的散料集中並傳送至隨機行走的運載汽車上，輸送臂的高度可以調節並可左右擺動，以調整卸料位置。刨路機規格、型號不同時，其結構、佈置也略有區別，但基本工作原理相同或相似。刨路機動力傳動的路線：發動機→液壓泵→液壓馬達、液壓缸→工作裝置。(刨路機示意圖如圖 2 所示；現場實際刨路作業如圖 3)

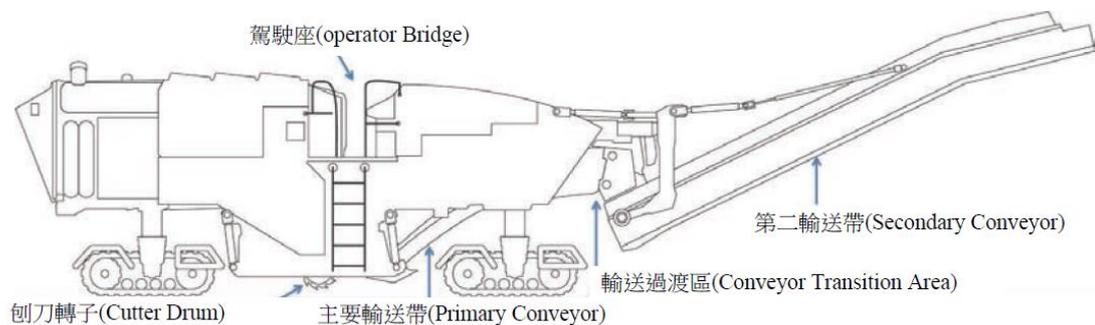


圖 2 刨除機示意圖



圖 3 現場刨路作業圖

## 第五節 結晶型游離二氧化矽特性與危害

### 一、二氧化矽(Silica or Silicon dioxide, SiO<sub>2</sub>)

二氧化矽有結晶型(crystalline)和非結晶型(amorphous)兩種型態。結晶型游離二氧化矽係指矽經由矽氧鍵(Si-O)聚合形成的三維空間排列，例如石英(Quartz)、方矽石(Cristobaltie)、鱗矽石(Tridymite)、斜矽石(Coesite)和重矽石(Stishovite)。這些分子量相同但具有不同形式的礦物質，稱為同素異形體(polymorphs)。若二氧化矽沒有規則的排列方式，原子間也無一定距離，則為非結晶型二氧化矽，例如蛋白石(Opal)[12][13]。

石英是自然界中最常見的結晶型游離二氧化矽，大量存在於岩石和土壤。石英是含量最豐富的礦物之一，具有化學穩定性和抗風化能力的特性，有 $\alpha$ 和 $\beta$ 的兩種形式，其中最常見為 $\alpha$ 形式。鱗矽石和方矽石是其他常見形式的結晶型游離二氧化矽，通常在

高溫形成的岩石中發現，例如火山岩。斜矽石(Coesite)和重矽石(Stishovite)是在高壓下形成的兩種罕見的結晶型游離二氧化矽，例如隕石撞擊產生的隕石坑和一些超高壓的變質岩。除了石英以外，這些其他形式的結晶型游離二氧化矽經過一定的時間(數百萬年)會緩慢地轉變成 $\alpha$ 形式的石英。結晶型游離二氧化矽還存在於其他物質，例如礫石、石板、矽藻土、混凝土、砂漿、石膏、耐火材料、陶土、石灰石、頁岩、磚和研磨劑。此外，小顆粒的結晶型游離二氧化矽稱為微結晶型二氧化矽(microcrystalline silica)，可能會與非結晶型二氧化矽結合，例如燧石、碧玉、玉髓、瑪瑙和石英粉。

## 二、二氧化矽的暴露途徑和健康危害

吸入是結晶型游離二氧化矽主要的暴露途徑。當結晶型游離二氧化矽的粒徑小於10微米時，可以進入人體的呼吸道，沉積在氣管、支氣管或者進入氣體交換區。大多數人暴露結晶型游離二氧化矽是發生在工作場所，而不是一般環境。使用沙子(sand)進行噴砂作業的人員，暴露結晶型游離二氧化矽的風險最高，其他常見的暴露職業還包括進行爆破和開挖活動的採礦、採石作業，以及在農場進行耕種活動可能產生的礦物性粉塵。

其中結晶型游離二氧化矽之化學特性穩定，溶解度低，進入肺部便不易排出而沈積在肺組織內，長期吸入可造成持續進行性且不可逆的肺纖維化症，即矽肺症。在短時間內暴露於高濃度可呼吸性游離結晶二氧化矽粉塵可發生急性矽肺症。發病很快，暴露數週至四到五年後，可在幾個月至兩年內就發病。

主要症狀為迅速惡化的呼吸困難、咳嗽、咳痰、疲勞、體重減輕、胸痛等。預後不良，症狀出現後多在一年內死亡[6][14]。暴露於較高濃度之可呼吸性結晶型游離二氧化矽粉塵則可能造成加速型矽肺症，多於暴露後五年至十年發病。慢性矽肺症則通常在多年可呼吸性結晶型游離二氧化矽粉塵暴露後發生，進行緩慢，先是在兩側肺野出現分離的細小圓形纖維性小結節，此時多數沒有明顯肺功能障礙。隨著肺組織纖維化的持續進行，矽結節逐漸變大，鄰近的矽結節也因肺纖維化的關係互相牽引進而融合成進行性大塊纖維化(progressive massive fibrosis)，嚴重時肺纖維化常伴有肺內構造的扭曲變形，常有明顯肺功能障礙，呼吸困難會逐日加重，最後導致呼吸衰竭、心臟衰竭甚至死亡[15][17]。

慢性職業暴露結晶型二氧化矽可能會造成矽肺症[1]、慢性阻塞性肺病、慢性支氣

管炎、肺氣腫、小氣道疾病(病變) [2]、肺結核/矽肺結核病[3]、自體免疫疾病(類風濕性關節炎、硬皮症、紅斑性狼瘡) [4]和腎臟疾病[5]。急性職業暴露高濃度的結晶型二氧化矽會引起咳嗽、呼吸急促、肺泡內脂蛋白堆積現[6]。

而在可呼吸性結晶型游離二氧化矽粉塵沈積在肺組織內之後，容易造成表皮細胞的損傷以及持續性的炎症反應，炎症反應釋出的物質隨後產生氧化反應，最終會產生自由基，而多不飽和脂肪酸受到自由基的攻擊後，會發生脂質過氧化反應，即可能造成肺間質的基因傷害，導致癌化病變。國際癌症研究中心(The International Agency for Research on Cancer; IARC)經多年研究已證實結晶型游離二氧化矽之致癌性，因此在1997年將其由致癌物質分類 Group2A 改為 Group 1，即確定人類致癌物質[7]。

### 三、結晶型游離二氧化矽健康危害相關文獻

Liu et al. (2013)對 34018 個在礦坑和陶瓷工廠工作因而暴露於結晶型游離二氧化矽下的中國工人進行長期追蹤，作關於致癌性暴露-反應分析，發現在暴露組的肺癌風險比起非暴露組上升了 44%[18]。Hughes et al. (2001)發現肺癌的風險與生涯累積的結晶型二氧化矽暴露量以及平均暴露濃度呈正相關[19]，而 Cassidy et al. (2007)則發現在暴露組的肺癌風險比起非暴露組上升了 37%[20]。

Soutar et al. (2000)回顧 10 個關於結晶型游離二氧化矽暴露與肺癌的描述性研究，其中只有 1 個沒有選擇性偏差。有 7 個研究發現暴露者的肺癌標準化死亡率較高(1.13 至 3)[21]。德國一項追蹤補償罹患矽肺症的實況工人研究發現，登記的 440 位勞工中有 144 位死亡，標準化死亡率(SMR)為 1.94，其中 16 位死於肺癌(SMR = 2.40)；雖暴露效應未能有效建立，但結論仍認為石礦工人罹患矽肺症，具有發展肺癌的高風險 [22]。Kurihara and Wada (2004)提出的回顧文獻指出，暴露於結晶型游離二氧化矽，不一定會增加罹患肺癌風險，但若得到矽肺症後，則相對風險值(Relative Risk)提昇至 2.37 [23]。另一份由 Pelucchi et al. (2006)針對回顧文獻的重新分析，也顯示矽肺症與肺癌的顯著關係 [20]。

1997 年國際癌症研究機構(International Agency for Research on Cancer, IARC)[25]整理現有的動物和人類研究，作出如下的結論：已有充分的證據顯示吸入的石英及方矽石對動物有致癌性，對人類也有充分的證據顯示因職業原因而吸入石英和方矽石的結晶型游離二氧化矽，具有致癌性。NIOSH 之後也分析了相關研究而得到以下結論：

肺癌與職業性結晶型游離二氧化矽的暴露有關，特別是石英和方矽石的暴露，有關礦工、矽藻土工人、花崗岩工人、陶瓷工人、耐火磚工人和其他工人的研究，都曾報告肺癌和暴露的相關性。對結晶型游離二氧化矽暴露與肺癌的流行病學研究作交互分析，結晶型游離二氧化矽暴露的肺癌相對危險性為 1.3，而矽肺症工人的肺癌的相對危險性較高，達 2.8[26]。

## 第六節 道路建築工人作業危害種類

在道路建築工人作業中主要可能暴露的危害，包含有粉塵、結晶型游離二氧化矽、PAHs、震動噪音以及熱危害等，以下及針對各類危害進行說明(粉塵與粉塵中結晶型游離二氧化矽於下一節中說明)。

陳等於 2002 年針對臺灣北部某市區翻修柏油路之 90 名勞工進行個人空氣採樣分析其環境中粉塵、PAHs 濃度。在總粉塵暴露量最多者為回收機駕駛，其次為刨路機駕駛，暴露粉塵較少者為鋪面勞工及壓路機駕駛，其中回收機駕駛最高粉塵暴露濃度可達  $6.521 \text{ mg/m}^3$ 。個人暴露之平均空氣總 PAHs 濃度依不同職責分類分別為鋪裝機駕駛、鋪面勞工、壓路機駕駛及刨路機駕駛，其所暴露空氣中之氣相與固相 PAHs 重量比分別為 26.17、20.07、16.83 及 4.38，此重量比亦依不同職務而有顯著性差異，暴露濃度可達 4 倍以上之差異，且氣相之 PAHs 為道路鋪築勞工作業環境最主要之來源 [27]。

王(2002)研究鋪路工程中 PAHs 之逸散情形及勞工暴露程度。從道路鋪面勞工 PAHs 實際暴露評估方面，針對鋪裝機駕駛、鋪面勞工、鐵輪駕駛及膠輪駕駛暴露族群，共計 28 名勞工進行個人 PAHs 呼吸及皮膚暴露採樣、生物偵測與氣膠粒徑分佈採樣，結果發現其所暴露到的總 PAHs 平均濃度分別為  $2438.49 \text{ ng/m}^3$ 、 $2337.74 \text{ ng/m}^3$ 、 $2684.55 \text{ ng/m}^3$ 、 $2334.66 \text{ ng/m}^3$ 。另發現這四類勞工所暴露之 PAHs 以氣相為主要的暴露源及二、三環之低分子量 PAHs 為主，並發現其致肺癌與皮膚癌風險分別介於  $3.81 \times 10^{-4} \sim 1.79 \times 10^{-3}$  及  $0.07 \times 10^{-6} \sim 4.22 \times 10^{-5}$  之間，建議道路鋪面勞工之保護宜由呼吸暴露之防護為優先進行。在環境偵測與生物偵測方面，經由多變相線性回歸發現結合 PAHs 之氣固相呼吸道暴露與皮膚量，可有效解釋勞工工作週結束後尿中 1-hydroxypyrene 含量之變異 89%，1-hydroxypyrene 此生物指標亦可有效來評估道路鋪面勞工暴露 PAHs 之情形

[28]。

劉等(2004)針對營建機械操作勞工在工作場所作業時，環境中振動及噪音等物理性危害因子暴露之嚴重性調查。其測定對象分為搬運或卸用機械如砂石車及混凝土拌合車、掘削挖(鏟)機械、道路夯實鋪裝機械及混凝土破壞機械等四大類，其結果顯示全身振動量測分析方面，將結果並與 ISO 2631(我國勞工安全衛生設施規則)比較，可發現砂石車、鐵輪夯實機高壓振狀況及混凝土破壞機等三大類機械振動量三軸向或加權加速度(WAS)均偏高，其中鐵輪夯實機及混凝土破壞機之振動量高致使勞工必需縮短暴露時間(30-60 分鐘間)；砂石車司機常路途遠，每趟出車超過 3 小時，如此全身振動(WAS=4.12m/s<sup>2</sup>)之累積能量對勞工之生理有嚴重之傷害。另噪音量音壓級之調查結果方面，可發現營建機械除鐵輪夯實壓路機於高壓振狀況及混凝土破壞機兩者音量達 90 分貝以上，其他各類機械運轉時之音量在 75~83 dBA 間，且車輛型機械及掘削機械之司機座位旁噪音高低受到車體避震系統、冷氣安裝、車窗閉密效果影響甚大[29]。

陳(2011)研究中提及傳統拌瀝青混凝土在製造及施工過程中，粒料及瀝青膠泥需高溫加熱，除了導致粉塵、多環芳香烴化合物等有害人體健康之化合物產生，更會曝露於過量熱輻射、熱危害，加上臺灣季節炎熱潮濕變化與地球溫室效應影響，不僅造成道路破損，也會讓勞工健康受到熱危害[30]。

## 第七節 刨路相關道路施作人員粉塵、結晶型游離二氧化矽暴露之相關研究

陳等(2002)針對道路鋪設作業環境進行調查，研究結果發現翻修柏油道路勞工之總粉塵暴露量刨路機、回收機、壓路機等駕駛及鋪面勞工分別為 2.68 mg/m<sup>3</sup>、3.60 mg/m<sup>3</sup>、0.29 mg/m<sup>3</sup> 及 0.86 mg/m<sup>3</sup>，顯示在刨路及回收機作業過程有明顯較多之揚塵，但未超過法定標準[27]。

Rappaport et al. (2003)調查 36 個工地作業人員可呼吸性粉塵和結晶型游離二氧化矽的暴露情形，作業人員的工作類型包括磚瓦工、油漆工(當在進行噴砂作業時)、操作工程師/駕駛(在地面上 2-3 公尺高處操作大型機具)及地面作業人員(操作手持機具)。結果顯示(表 6)油漆工的可呼吸性粉塵和結晶型游離二氧化矽濃度之中位數最高(13.5 mg/m<sup>3</sup> 和 1.28 mg/m<sup>3</sup>)，接著是地面作業人員(2.46 mg/m<sup>3</sup> 和 0.350 mg/m<sup>3</sup>)、磚瓦工(2.13

mg/m<sup>3</sup> 和 3.20 mg/m<sup>3</sup>)、操作工程師/駕駛(0.720 mg/m<sup>3</sup> 和 0.075 mg/m<sup>3</sup>) [31]。

表 6 四種建築工作人員可呼吸性粉塵及結晶型游離二氧化矽暴露情形

工作	樣本數	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )		結晶型游離二氧化矽 (mg/m <sup>3</sup> )	
		中位數	範圍	中位數	範圍
油漆工	14	13.5	1.16-833	1.28	0.260-26.2
磚瓦工	11	2.13	0.160-29.0	0.320	0.007-14.2
操作工程師 (駕駛)	46	0.720	0.01-3.00	0.075	0.007-0.800
地面作業	80	2.46	0.01-21.0	0.350	0.007-5.90

Valiante et al. (2004)對於道路修理作業人員進行結晶型游離二氧化矽個人採樣，作業人員的類型包含操作手持式鑿岩機、鋸切混凝土、銑刨混凝土、清理混凝土、研磨瀝青、清理瀝青及鑽孔。結果顯示(表 7)結晶型游離二氧化矽濃度超過 OSHA PEL 的比率分別為手持式鑿岩機人員(88%)、鋸切混凝土人員(100%)、銑刨混凝土人員(100%)、清理混凝土人員(67%)、研磨瀝青人員(0%)、清理瀝青人員(0%)及鑽孔人員(100%)，平均濃度範圍為 ND-1.15 mg/m<sup>3</sup>[32]。

表 7 不同作業下結晶型游離二氧化矽暴露情形

作業人員類型	樣本數	平均數 (mg/m <sup>3</sup> )	範圍 (mg/m <sup>3</sup> )	標準差	超過 OSHA PEL 的樣本 數和比率(%)	超過 ACGIH TLV 的樣本數 和比率(%)
操作手持式 鑿岩機	25	0.276	0.03-0.63	0.161	22 (88)	24 (96)
鋸切混凝土	6	0.348	0.15-0.50	0.144	6 (100)	6 (100)
銑刨混凝土	2	1.070	0.99-1.15	0.113	2 (100)	2 (100)
清理混凝土	6	0.152	0.02-0.26	0.099	4 (67)	5 (83)
研磨瀝青	8	0.041	Nd-0.07	0.027	0	4 (50)
清理瀝青	3	0.007	Nd-0.02	0.012	0	0
鑽孔	2	0.107	0.05-0.16	0.076	2 (100)	2 (100)

Linch 等人(2002)對於瀝青/混凝土道路的刨路作業人員進行可呼吸性粉塵和結晶

型游離二氧化矽的採樣，結果指出刨路工人結晶型游離二氧化矽的八小時時量平均暴露濃度為 0.36 mg/m<sup>3</sup> 與 0.10 mg/m<sup>3</sup>，超過 NIOSH REL 標準(0.05 mg/m<sup>3</sup>)的 7 倍及 2 倍 [33]。

Blute 等人(1999)針對道路建築作業人員在切割、覆蓋和隧道完成階段進行可呼吸性粉塵和結晶型游離二氧化矽採樣，採樣對象包含使用手持機具進行路面水泥脫除之工人、操作工程師、鐵工及木匠。結果顯示(表 8)可呼吸性粉塵濃度範圍從 0.06 到 21.77 mg/m<sup>3</sup>，12%的樣本超過 OSHA PEL 的標準(5 mg/m<sup>3</sup>)，以路面水泥脫除工人的平均濃度最高(2.85 mg/m<sup>3</sup>)。此外，結晶型游離二氧化矽的平均濃度亦以路面水泥脫除工人最高(11.5 mg/m<sup>3</sup>) [34]。

表 8 不同作業人員可呼吸性粉塵與結晶型游離二氧化矽暴露情形[34]

工作	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )			結晶型游離二氧化矽 (mg/m <sup>3</sup> )		
	樣本數	中位數	幾何平均數	樣本數	中位數	超過 OSHA PEL (%)
水泥脫除工人	36	2.85 (0.18-21.77)	1.26 (3.52)	24	11.5 (0.7-27.4)	54
操作工程師	22	0.55 (0.15-2.39)	0.40 (2.15)	5	13.3 (4.4-26.7)	0
鐵工	11	0.79 (0.19-3.45)	0.57 (2.14)	2	12.2 (5.5-18.9)	50
其他	8	0.76 (0.06-2.12)	0.34 (4.29)	1	6.8	0

Woskie et al. (2002)針對暴露在灰塵、柴油機廢氣、石英等環境中之高速公路施工人員進行採樣，在 260 個採樣樣本中，在 7-31%的案例中，可呼吸性粉塵中石英濃度是超過 NIOSH 建議之暴露極限(REL)，在安裝與混凝土的作業人員採樣樣本中超過 50% 的案例是超過 NIOSH 建議之暴露極限(REL)，胸部暴露於石英和粉塵的呼吸暴露量分別超過 4.5 和 2.8 倍。石英和粉塵的可呼吸性暴露量分別超過可呼吸性暴露量的 25.6 倍和 9.3 倍[35]。

Freund et al. (2012)針對道路鋪設作業人員進行微粒暴露評估，對 27 名作業人員進行調查，結果發現在刨路的過程中作業人員的微粒暴露是背景值的 1-4 倍，銑刨過

程中 miller operators、miller screed operators 與 raker 個人平均接觸量分別為 19,000-111,000、28,000-81,000 和 19,000 particles/cm<sup>3</sup>，最高暴露量可以達到 455,000 particles/cm<sup>3</sup>[36]。

Beaudry et al. (2013)彙整了 1974 - 2009 年間法國建築工程相關行業可吸入結晶二氧化矽之暴露數據資料，結果發現在隧道施工人員暴露部分可吸入結晶二氧化矽濃度為 0.30 mg/m<sup>3</sup>[37]。

## 第八節 刨路作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露控制

美國國家職業安全衛生研究所 (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)在 2015 年出版「Best Practice Engineering Control Guidelines to Control Worker Exposure to Respirable Crystalline Silica during Asphalt Pavement Milling」一書 [38]，目的為減少公路銑刨時可呼吸性結晶型游離二氧化矽的暴露和改善工作條件，對於刨路機產生之結晶游離二氧化矽建議採用通風、銑削轉子結合水噴霧系統的方式進行控制，確保結晶游離二氧化矽濃度低於 NIOSH 建議標準 REL 0.05 mg/m<sup>3</sup>。其中有關瀝青銑刨機 (asphalt milling machine)粉塵控制指引以下簡要整理。

NIOSH 建議在進行高速公路建設時，使用通風設備來控制瀝青路面銑刨作業勞工可呼吸性結晶型游離二氧化矽的暴露。同時使用通風設備與冷卻銑刨刀的噴水系統可持續減少可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度低於 NIOSH 暴露建議限值(recommended Exposure Limits, REL) 0.05 mg/m<sup>3</sup>[39][40]。

在進行減少瀝青路面銑刨機產生可呼吸性結晶型游離二氧化矽的通風工程設計時，應在受到控制的環境使用煙和追蹤氣體來測試其效率，例如倉庫。可見煙被用來顯示銑刨機滾筒(drum)和輸送帶周圍的氣流模式，進而協助追蹤氣體測試的設置。追蹤氣體被使用做為量測通風系統的風速，以及對於可呼吸性結晶型游離二氧化矽的捕集效率。有關瀝青路面銑刨機通風控制評估之實驗室追蹤氣體和煙釋放試驗程序可參考指引的附錄 A。在進行銑刨機通風控制設計時，設計人員應考慮下列因素：滾筒殼體 (drum housing)和輸送機周圍遮蓋的範圍、風罩和風管設計、需要的氣流流量、風管和風扇產生的噪音和耐用性和防止通風設備阻塞的措施。在進行銑刨機上滾筒外殼和輸送機的設計時，應將滾筒和輸送機周圍盡可能的包圍。理想的設計是將滾筒和輸送系

統完全封閉，只有在次級輸送機的頂部留一個開口，以便讓被刨除的瀝青轉移到傾卸車。消除這些遮罩設計的開口區域，將有助於維持容納二氧化矽粉塵所需要的負壓。夥伴關係的研究顯示一個封閉良好的滾筒和輸送系統可以減少勞工粉塵的暴露，從主輸送機和滾筒區域抽吸的空氣每分鐘只有 900 立方英尺。在一些追蹤氣體的研究顯示最小流速每分鐘 900 立方英尺被測定是有效的[41][43]。

在遮罩內提供負壓是防止污染物逃逸到周圍區域常見的通風技術。為了容納二氧化矽粉塵，重要的是維持銑刨機滾筒中的負壓。滾筒殼體內的多個噴嘴噴水時，會使殼體處於正壓。如果此時不使用通風排氣，則含有粉塵的空氣會從滾筒殼體中的間隙釋出，並且污染周圍環境，包括鄰近工人的呼吸區域。旋轉的滾筒和移動的瀝青材料也可以產生氣流，該氣流可導致粉塵從滾筒殼體逸出。因此，如何使滾筒殼體發生洩漏的開口面積最小化，並且不會影響運轉過程是非常重要的。通風控制設計應以能克服任何的正壓，且能移除足夠的空氣為要求，並使滾筒殼體和周圍空氣之間產生負壓差。在「工業通風：設計推薦實踐手冊」中建議使用  $0.04 \pm 0.02$  英寸水柱的負壓差，作為大多數工業過程控制污染物的良好性能標準[44]。

典型的通風控制設備包括氣罩、風扇、風管和集塵器，用在減少工廠或設備的粉塵暴露[45]。如果銑刨機的通風設備未設置集塵器，則在系統的出口處應高速向上排放，並位於次級輸送機頂部附近或遠離工人的其他位置。未裝有集塵器的銑刨機進行作業時，當被刨除的粉塵排放到風中，也應該設計成允許操作員可以暫時關閉通風控制系統。此外，在關閉時間超過 60 分鐘時，可以自動開啟通風控制裝置。無論風向如何，用於冷卻銑刨刀的噴水系統都應該保持在打開的狀態。

通風設備的風管應設計具有最小的空氣流速，以防止灰塵沉降及阻塞流動。美國政府工業衛生師協會 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) 推薦最小的風管速度為 4,500 英尺/分鐘，適用於重或潮濕的粉塵[46]。單憑風管的輸送速度可能還不足以防止管道阻塞。同樣重要的是設計風管和風罩起飛點之間逐漸過渡 (gradual transition) 空氣速度的設計，要使得較大顆粒的粉塵不會進入及阻塞管道或損壞風扇。風扇可以將空氣從滾筒殼體或主輸送機通過風罩或沉降箱移動，在空氣進入風管之前將空氣速度由低逐漸增加到高。通風控制設計的概念應該是至少能控制可呼吸尺寸的二氧化矽粉塵。設計能捕集直徑達  $100\mu\text{m}$  的可吸入尺寸粉塵的通風

控制設備也是謹慎的做法。小於 10 微米的微粒能夠進入肺部的氣體交換區域，並引發矽肺病和癌症[47]。

氣膠科學家開發一種電子試算表格，可依據粉塵的粒徑和其他因素來計算沉降速度[48]。銑刨機製造商應使用粉塵沉降速度的訊息來設計逐漸過渡的空氣流速，以防止較大顆粒的粉塵進入風管。可能的設計是使用風罩或沉降箱，從滾筒殼體或輸送機垂直拉動空氣。圖 5 顯示在粉塵進入風管之前，使用一個方形的沉降箱，將空氣流速逐漸從低變高，進而可沉降出較大顆粒的粉塵。即使使用沉降箱或通風罩來提供逐漸過渡的空氣流速，風扇和管道系統也應設計成能夠承受含有粉塵的氣流。在通風控制的設計和測試階段，應評估風扇和管道的耐久性。在對一批銑刨機實施通風控制之前，應先評估風扇和風管使用的耐久性或是會發生阻塞的缺陷。

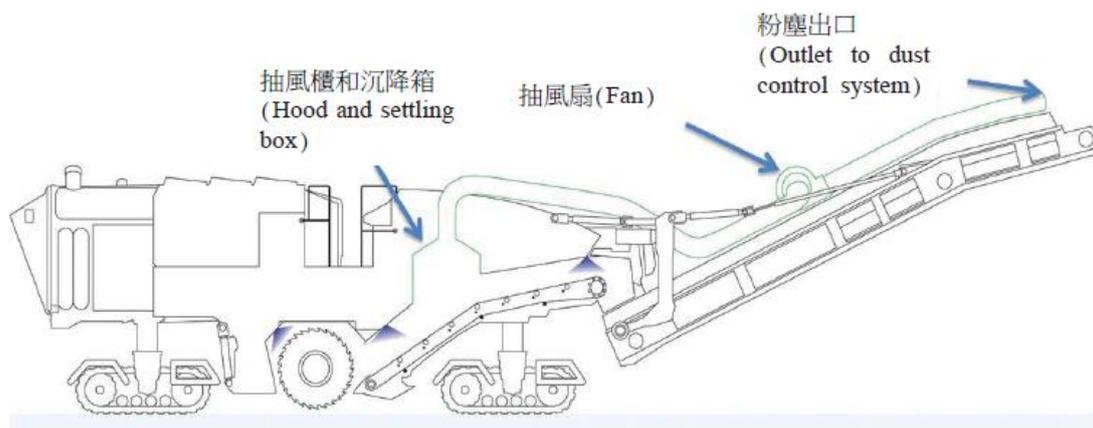


圖 4 銑刨機上的抽風櫃和沉降箱 (圖片來源 NIOSH)

NIOSH 建議在沒有通風控制的瀝青銑刨機上使用最佳實踐的噴水系統。在許多類型的工業應用中，噴水系統可提供有效且經濟的方法來控制粉塵。雖然噴水是一種非常簡單的技術，但應評估考量多種因素，以確定噴水設計在瀝青路面銑刨機上是最有效的。防止粉塵的產生和抑制粉塵的技術是兩種應用於瀝青路面碾磨作業有效的粉塵控制方法。第一種方法是藉由將水噴在被銑刨的路面，防止粉塵被釋放或產生，並且變成空氣傳播。第二種方法則是粉塵抑制，對空氣中的粉塵噴水，造成粉塵顆粒碰撞、凝聚，並從空氣中掉落。由於水用於冷卻所有瀝青路面銑刨機的刀頭，因此將水用於

可吸入粉塵的控制是合乎邏輯的。

初級的粉塵預防技術是在銑刨過程中潤濕瀝青路面，進而使材料、微粒和粉塵的重量增加，以減少這些粉塵粒子可經由空氣傳播的能力。由於粉塵粒子變得更重，周圍空氣更難將它們帶走。有效的濕式噴水粉塵控制關鍵是 (1)水壓和水流速，(2)適當施加水分，(3)設計噴嘴的位置和方向，(4)控制液滴大小，(5)選擇最佳噴水模式和噴嘴類型，以及(6)噴嘴和噴水應用設備的適當維護[45]。在可能的範圍內，粉塵抑制系統的水箱、幫浦、管線和噴嘴應由非腐蝕性或耐腐蝕材料製成。最後一個考慮因素是具有適當設計的液體過濾系統，以最小化噴水系統產生的污染物。此外，還要防止水噴嘴堵塞。NIOSH 出版的「金屬/非金屬採礦粉塵控制的最佳實踐」提供過去地下採礦機器更詳細的噴嘴選擇和設置信息，可作為銑刨機之切割滾筒粉塵控制技術的參考[49]。

在最初從路床分離的期間，足夠的潤濕對於確保粉塵粒子能保持附著在破碎的瀝青路面材料上非常重要。均勻的潤濕有對於系統的有效性也是一個重要議題。當使用切割滾筒時，將瀝青路面和水均勻潤濕混合，可以達到降低粉塵的效果。[50] 噴水可以冷卻銑刨機滾筒上的切削鑽頭，並且還可以提供粉塵抑制效果。圖 5 顯示噴水噴在滾筒的切削鑽頭上。為了節約用水，只能在銑刨過程中啟動噴水。建議製造商在每台機器上安裝水流量計和壓力表，以便目測確定噴水系統是否在設計的操作範圍內運轉。



圖 5 水噴在滾筒來冷卻用來切割路面的鑽頭。當鑽頭切割路面時，水會和被移除的瀝青路面材料混合 (圖片來源 NIOSH)

NIOSH 與國家瀝青路面協會 (National Asphalt Pavement Association, NAPA)、銑刨承包商和設備製造商合作，評估了多個路面銑刨作業現場改變噴水系統的效果。在調查期間，測量銑刨機周圍多個位置的可呼吸性粉塵濃度，監測從銑刨刀殼體和下方輸送帶轉移區釋放出的粉塵。在這些調查中所使用的採樣步驟和每個現場個別的測試條件，都描述在每個案例研究中。並非所有噴水系統的修改都是成功的，但多次調查確實提供可量測粉塵釋放減少的實例。以下總結幾個案例研究，說明噴水系統如何修改，以及其可量測到的益處。

### 一、案例 A

首先測量原本噴水系統的銑刨機，在銑刨作業時產生的粉塵濃度，作為基線 (baseline) 粉塵濃度。該噴水設備在切割滾筒後面有 18 個平扇形噴嘴，切割滾筒前面有 5 個平扇形噴嘴，以及在主輸送機轉移區的幾個噴嘴。銑刨機上的水泵可以調整，在 200 磅/平方英吋 (psi) 下的額定輸出高達 15 加侖/分鐘 (gpm)。然而，在銑刨作業時一般使用的噴水系統在 35psi 下為 6gpm。

對噴水系統的水泵進行調整，將水壓從 35psi 增加到 70psi，同時水流量從 6gpm 增加到 12gpm。圖 6 顯示一個典型的水流量計和壓力錶，它們被安裝並用於量化測試期間水應用的變化。在操作員的甲板上可以簡單地將水泵從 35 調整到 70psi，在機器周圍的 7 個位置進行區域粉塵採樣，測量結果顯示可呼吸性粉塵可減少 50% (幾何平均值從  $1 \text{ mg/m}^3$  到  $0.5 \text{ mg/m}^3$ )。此外，對現有的噴嘴沒有任何改變或增加[51]。對於可呼吸性的結晶二氧化矽，在試驗期間個人呼吸區空氣採樣結果從小於偵測極限到  $0.170 \text{ mg/m}^3$ [51]。

### 二、案例 B

與案例研究 A 相似，操作員可以藉由改變水泵的輸出來調節流向銑刨機的水流量。在這次調查，水流量從 12.5 加侖/分鐘增加到 18.8 加侖/分，可使得機器周圍 10 個關鍵區域採樣位置的可呼吸性粉塵減少約 41% (從幾何平均值  $0.328 \text{ mg/m}^3$  到  $0.193 \text{ mg/m}^3$ ) [51]。然而，除了增加水泵輸出之外，這些粉塵減少情況是在不改變現有噴水系統的情況下達成的。

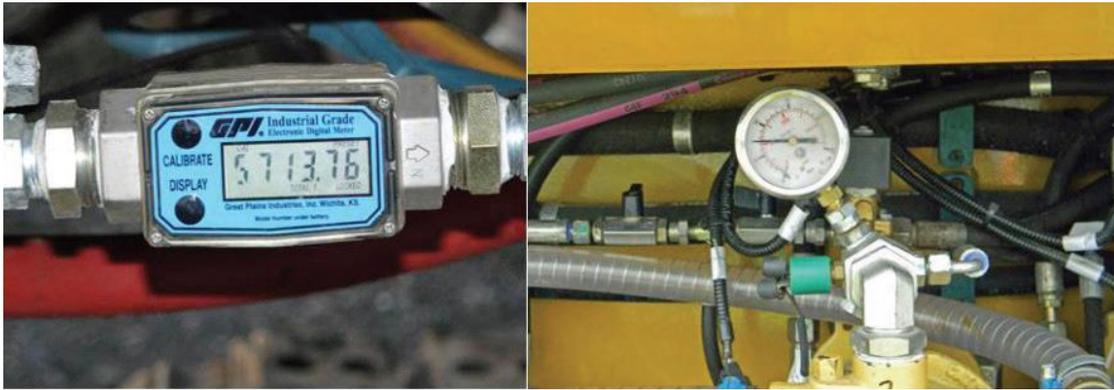


圖 6 在路面銑刨機研究期間使用水流量計和壓力錶 (圖片來源 NIOSH)

### 三、 案例 C

在此評估期間，原本噴水系統由 16 個噴嘴所組成，這些噴嘴位於銑刨刀殼體的前面、後面和主輸送機的排放口。這些噴嘴的總水流量在 20 psi 下為 22.4 gpm。改善後的噴水系統，總共使用 14 個噴嘴，其在 20 psi 下提供 21.4 gpm。在這個案例研究中，水量沒有增加，但是水的分佈改變，例如噴嘴的位置和方向，改善了粉塵控制的效果。例如將噴嘴重新放置在銑刨刀殼體的前面，在材料流動的相反方向噴水，移除殼體前上部的噴嘴，並將噴嘴加裝到主輸送機的轉移區。與基線粉塵濃度相比，改進的噴霧系統可讓在機器上 6 個關鍵區域採樣位置測量到的可呼吸性粉塵濃度平均減少約 43% (從幾何平均值  $0.72 \text{ mg/m}^3$  到  $0.41 \text{ mg/m}^3$ ) [54]。

### 四、 濕式滾筒 (Wet Drum)研究

利用濕式滾筒，水被供應到切刀滾筒的內部，並且利用重力將水從滾筒殼體裡的噴嘴排出，以防止切割區域中的粉塵釋放。將濕式滾筒獲得的粉塵濃度與基線噴水系統產生的粉塵濃度進行比較，基準噴水系統由沿切割滾筒背面和主要及次要輸送機的轉移區進行噴水。濕式滾筒技術是在兩個不同的銑刨地點進行評估。在第一個試驗現場，濕式滾筒的使用導致較低採樣位置濃度減少 32%，操作員位置濃度減少 59%[51]。在第二個試驗現場，濕式滾筒使得較低採樣位置的粉塵濃度平均減少 37%，操作員位置的粉塵濃度平均減少 27%[51]。然而，由於廣泛的效能變化，第二個試驗現場的減少在統計上並無顯著。在第二個濕式滾筒的試驗現場[51]，可呼吸結晶二氧化矽的個人呼

吸區空氣採樣結果範圍為  $0.028 \text{ mg/m}^3$  至  $0.085 \text{ mg/m}^3$ 。

濕式滾筒技術在操作中觀察到的問題是來自滾筒的水分佈不一致。在平坦的道路上，水從滾筒中均勻地排出到整個銑刨帶。但是，如果道路在其寬度上沒有水平，則水將從切割滾筒的低側排出，但是滾筒高側的道路將是乾燥的。在滾筒內添加擋板以確保水能均勻地分配到滾筒的所有部分，也許可以潛在地改善濕式滾筒技術的效能

除了美國職業安全衛生研究所(NIOSH) 提出之控制手冊外，文獻中也指出可利用局部通風 local exhaust ventilation (LEV)之方式進行刨除路面產生粉塵之控制。Echt et al. (2016)利用局部排氣(LEV)的方式針對以衝擊樺鑽孔機在混凝土路面上進行鑽孔作業時之可呼吸性粉塵控制，由結果可以發現在兩台機器的採樣過程中，其一可呼吸性粉塵濃度由  $54 \text{ mg/m}^3$  降至  $3.0 \text{ mg/m}^3$ ；另一台機器上則是由  $57 \text{ mg/m}^3$  降至  $5.3 \text{ mg/m}^3$ ，由結果可知利用局部通風的方式可以達到近 90%的可呼吸性粉塵防治能力[52]。

Hammond et al. (2016)針對刨路作業抑制可呼吸性粉塵與可呼吸性結晶型游離二氧化矽進行探討，利用安裝有通風與水噴霧之刨路機進行道路刨路時之抑制測試。在 11 條高速公路刨路工程作業進行採樣，針對操作人員與地面工作人員進行可呼吸性微粒進行採集。由結果顯示所有的樣本之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度均低於美國 NIOSH 之建議規範  $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ，A 刨路機作業人員平均可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度為  $6.2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ，地面工作人員為  $6.1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ，B 刨路機作業人員平均結晶型游離二氧化矽濃度為  $4.2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ，地面工作人員為  $9.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ 。整體而言，利用通風控制和水噴霧是有效控制刨路機刨路過程中產生之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度，減少作業人員暴露[53]。

## 第九節 國內外結晶型游離二氧化矽容許暴露標準

勞動部公布之勞工作業場所容許暴露標準中，空氣中粉塵容許濃度如表 9 所示。另結晶型游離二氧化矽各國的作業環境暴露標準如下表 10 所示。

表 9 空氣中粉塵容許濃度表

種類	粉塵	容許濃度	
		可呼吸性粉塵	總粉塵
第一種粉塵	含游離二氧化矽 10% 以上之礦物性粉塵	$\frac{10}{\%SiO_2+2} \text{ mg/m}^3$	$\frac{30}{\%SiO_2+2} \text{ mg/m}^3$
第二種粉塵	未滿 10%游離二氧化矽之礦物性粉塵	1 mg/m <sup>3</sup>	4 mg/m <sup>3</sup>
第三種粉塵	石棉纖維	0.15 f/cc	
第四種粉塵	厭惡性粉塵	5 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>

表 10 各國結晶型游離二氧化矽規範之容許濃度[34]

	結晶型游離二氧化矽-石英 (mg/m <sup>3</sup> )	備註
美國 ACGIH	0.025	可呼吸性粉塵
美國 OSHA	0.05	可呼吸性粉塵
美國 NIOSH	0.05	可呼吸性粉塵
歐盟	0.02	可呼吸性粉塵
日本厚生勞動省	$\frac{3.0}{1.19*\%SiO_2 + 1}$	可呼吸性粉塵
日本 JSOH	0.03	可呼吸性粉塵
英國 HSE	0.1	可呼吸性粉塵
瑞典	0.1	可呼吸性粉塵
芬蘭	0.2	可呼吸性粉塵
我國	$\frac{10}{\%SiO_2 + 2}$	第一種粉塵(可呼吸性粉塵) <sup>註 1</sup>
	$\frac{30}{\%SiO_2 + 2}$	第一種粉塵(總粉塵)
	1	第二種粉塵(可呼吸性粉塵) <sup>註 2</sup>
	4	第二種粉塵(總粉塵)

註 1：我國第一粉塵之定義為含結晶型游離二氧化矽 10% 以上之礦物性粉塵。

註 2：我國第二粉塵之定義為未滿 10% 結晶型游離二氧化矽之礦物性粉塵。

## 第三章 工作方法與流程

### 第一節 作業環境選定

本計畫針對刨路作業環境進行粉塵與結晶型游離二氧化矽之相關暴露調查，刨路對象一般來講分為一般道路、快速道路與高速公路三種類別，其刨路深度不同，同時刨除到的瀝青混凝土層也有所不同，一般道路為柔性鋪面，主要為瀝青混凝土面層；快速道路亦為為柔性鋪面，不過在瀝青混凝土面層上，會有瀝青黏層與開放級配磨磨擦層，目前在快速道路上為改質式瀝青混凝土；高速公路鋪面與快速道路相同，僅有在開放級配磨磨擦層上為透水性瀝青混凝土，因此為瞭解不同道路鋪面刨除過程產生之粉塵與結晶型游離二氧化矽濃度特性，本計畫選取 15 次刨路作業進行現場採樣，包含有一般平面道路與快速道路。

完成的 15 次刨路採樣中包含 4 次刨路作業中導入防制設備，其中快速道路採樣 4 次，一般平面道路採樣 11 次。採樣路段如表 11 所示

表 11 採樣路段說明

	採樣路段(無噴霧)
第 1 次	新竹縣光華陸橋、三民南路
第 2 次	新竹縣新埔鄉縣道 115 線 27-29k
第 3 次	新竹縣新埔鄉縣道 115 線 30-31k
第 4 次	新竹縣寶山鄉峰城路 789 號
第 5 次	新竹市香山區虎林街
第 6 次	新竹市北區南勢二街、南勢六街
第 7 次	新竹縣博愛街、莊敬北路
第 8 次	新竹縣竹北市中央路
第 9 次	新竹縣竹北市興隆路五段、福興東路一段右側
第 10 次	新竹縣竹北市福興東路一段左側、新溪街
第 11 次	新北市林口區台 61 線 17-19.5 K(快速道路)
	採樣路段(導入噴霧模組)
第 1 次	新竹縣新工六街、保泰五路
第 2 次	新北市林口區台 61 線 30k~30k 657m(快速道路)
第 3 次	新北市林口區台 61 線 30k 660m~31k 400m(快速道路)
第 4 次	新北市林口區台 61 線 30k~31k 400m(快速道路)

## 第二節 目標刨路作業環境粉塵監測策略

### 一、採樣策略規劃

本計畫針對刨路作業環境調查之採樣策略規劃，主要依據採樣目的分別進行個人採樣與區域採樣，刨路作業環境粉塵(總粉塵與可呼吸性粉塵)與結晶型游離二氧化矽(可呼吸性粉塵)之監測是採取個人採樣方式進行；另參考美國職業安全衛生研究所(NIOSH) 提出之 Best Practice Engineering Control Guidelines to Control Worker Exposure to Respirable Crystalline Silica during Asphalt Pavement Milling，導入控制噴霧設備於刨路過程，在此部分採樣以個人採樣的方式進行，評估噴霧防制設備對於作業人員是否有防護作用；另每個路段均會進行背景採樣，以瞭解未進行刨路作業前此路段之粉塵特性。

圖 7 為刨路工程作業現場作業示意圖，由圖中可以看到主要刨路工程中，工作人員作業分為三型，一為駕駛操控人員；另一為確認刨除深度人員；三為探測人員，確認刨除路面上人孔或其它埋入物，不過就整體而言三種不同型態之作業人員均是暴露在整個瀝青混凝土被刨除噴離的粉塵範圍之內，不過並非每次刨路作業時均會有三種型態人員，當路段較為狹小，僅會有駕駛與確認刨除深度人員，不會有確認刨除路面上人孔人員，因此在個人採樣上一般均是針對這三型態人員進行採樣，若遇到狹小路段時，僅針對駕駛與確認刨除深度人員進行個人採樣配戴。



圖 7 刨路工程作業現場圖



圖 7 刨路工程作業現場圖(續)

### (一) 個人採樣

受測對象於進行鋪面刨除作業時，佩戴 1 組空氣採樣設備(圖 8)，進行呼吸帶區域之總粉塵、可呼吸性粉塵、與可呼吸粉塵結晶型游離二氧化矽採樣，並依檢測物質選取合適捕集設備與採樣流速範圍。鋪面刨除作業環境原則上採取全程單一樣品採樣，刨除作業環境由於會產生大量的粉塵，為避免濾紙過重，原則上採取部分時間單一樣品採樣，待作業結束時，將採樣介質取下密封，並記錄每次採樣之時間、編號。

本計畫中參考美國職業安全衛生研究所(NIOSH) 利用刨路機粉塵控制指引中提到的方式-噴霧法，進行實地粉塵控制技效能術評估，因此在了解導入後的粉塵濃度變化情形，以個人採樣進行評估。

### (二) 區域採樣

計畫中道路背景粉塵與結晶型游離二氧化矽採樣是利用區域採樣方式進行，每次刨路作業前一天，均先至採樣路段進行背景採樣。採樣是利用腳架配置 1 組空氣採樣設備(圖 9)，進行呼吸帶區域之總粉塵、可呼吸性粉塵、與可呼吸粉塵結晶型游離二氧化矽採樣，依檢測物質選取合適捕集設備與採樣流速範圍，並記錄每次採樣之時間、編號。

此外，本研究在每一個採樣點，亦同步紀錄採樣工作進行時之溫度、濕度、風速等環境條件，以及工作人員數目及行為，以利進行粉塵濃度變化之分析參考。



圖 8 個人採樣示意圖



圖 9 區域採樣示意圖

## 第三節 刨路作業環境總粉塵與可呼吸粉塵採樣分析方法

### 一、 總粉塵

#### (一) 採樣方法

根據勞動部公告之採樣分析建議方法 CLA4002，使用濾紙匣為捕集設備，進行作業環境空氣中總粉塵採樣。濾紙匣內裝有直徑 37 mm、孔徑為 5 μm 的 PVC 濾紙及纖維素材質支撐墊片，採樣泵流率為 2.0 L/min。採樣完成後，將樣品送回實驗室秤重。

#### (二) 採樣前準備工作

先將濾紙置於恆溫恆濕箱過夜，再將濾紙以精密微量天平秤重，並分別記錄欲採樣前濾紙以及空白樣品濾紙所秤重量的平均值。連續兩次秤重讀值，其差值若小於 0.03 mg，取其平均值，否則秤取第三次重量，以其中較接近的兩次且差值小於 0.03 mg 者取平均值。秤重後，將濾紙放入濾紙匣中並加以蓋緊，用塞子將濾紙匣兩端小孔塞住，並以纖維素製的收縮帶包緊濾紙匣。每批樣品採樣前需準備樣本數的 10%，至少 2 個以上之空白介質作為現場空白樣品。精密微量天平每天使用前需以標準法碼(E2 或同等級)校正，並於每次稱重前都要歸零，且採樣前、後使用相同天平。

#### (三) 濃度計算

採樣完成後，將濾紙匣之兩端塞子移去後，置於恆溫恆濕箱過夜，並保持濾紙採集面朝上。然後除去濾紙匣之收縮帶，並打開濾紙匣，取出濾紙秤重，記錄採樣後濾紙以及空白樣品濾紙所秤重量的平均值。然後以下列公式進行濃度計算：

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \times 10^3$$

其中：

C：空氣中有害物濃度(mg/m<sup>3</sup>)

V：採集氣體體積(L)

W1：採樣前濾紙重量(mg)

W2：採樣後濾紙(含樣品)重量(mg)

B1：採樣前現場空白濾紙平均重量(mg)

B2：採樣後現場空白濾紙平均重量(mg)

## 二、可呼吸性粉塵

參考勞動部公告之採樣分析建議方法 CLA4001，利用個人採幫浦配置 New-IOSH 旋風分粒採樣器搭配濾紙匣，濾紙匣內裝有直徑 37 mm、孔徑為 5  $\mu\text{m}$  的 PVC 濾紙，採樣流率為 2.1 L/min，採樣完成後，將樣品送回實驗室秤重，並計算其濃度。採樣前、後秤重準備工作，以及濃度計算公式如總粉塵之採樣分析方法所述。

採樣完畢後，將濾紙匣取下置於密封保存盒中，運送回實驗室後，將濾紙連同保存盒置於溫度  $22.5 \pm 5^\circ\text{C}$  相對濕度  $40 \pm 5\%$  之恆溫恆濕乾燥箱中，過夜靜置 25 小時後進行開啟與秤重。本計畫同時於每場採樣樣本中，添加現場空白樣本 2 個，於現場開啟封塞後不進行空氣採樣即裝回封塞，以備瞭解採樣作業後處理、運送、等待分析等相關過程是否造成濾紙汙染。採樣後之幫浦亦再次進行流量校正，紀錄採樣流量以計算採樣體積。

採樣過程利用熱線式風速計(Testo 405 thermal anemometer, Testo Inc., Germany) 量測作業環境之風速(瞭解是否具有通風的條件)，以及 Q-trak (TSI inc., USA) 量測作業環境之溫度與相對濕度，以瞭解採樣時環境條件。

## 第四節 刨路作業環境可呼吸性粉塵中結晶型游離二氧化矽採樣分析方法

### 一、可呼吸性粉塵之結晶型游離二氧化矽

#### (一) 採樣方法

依照勞動部公告之採樣分析建議方法 CLA4003，使用開放式濾紙匣搭配 SKC 鋁製旋風分粒採樣器進行採樣，濾紙匣內裝有 25 mm 聚四氟乙烯濾紙裱敷玻璃纖維，採樣流率為 2.5 L/min，採樣完成後，將樣品送回實驗室秤重。

#### (二) 採樣前準備工作

先將濾紙置於恆溫恆濕箱過夜，再將濾紙以精密微量天平秤重，並分別記錄欲採樣前濾紙以及空白樣品濾紙所秤重量的平均值。連續兩次秤重讀值，其差值若小於 0.03mg，取其平均值，否則秤取第三次重量，以其中較接近的兩次且差值小於 0.03mg 者取平均值。秤重後，將濾紙放入濾紙匣中並加以蓋緊，用塞子將濾紙匣兩端小孔塞

住，並以纖維素製的收縮帶包緊濾紙匣。每批樣品採樣前需準備樣本數的 10%，至少 2 個以上之空白介質作為現場空白樣品。精密微量天平每天使用前需以標準法碼(E2 或同等級)校正，並於每次稱重前都要歸零，且採樣前、後使用相同天平。

### (三) 樣品稱重

採樣完成後，將濾紙匣之兩端塞子移去後，置於恆溫恆濕箱過夜，並保持濾紙採集面朝上。然後除去濾紙匣之收縮帶，並打開濾紙匣，取出濾紙稱重，記錄採樣後濾紙以及空白樣品濾紙所稱重量的平均值。然後再以 X 光繞設法(XRD)進行結晶型游離二氧化矽之偵測。

### (四) 檢量線

用粉塵標準品以粉塵再發法建製檢量線。將標準品填充於發生源，再產生適量的粉塵於暴露腔，幫浦流速搭配其採樣器進而採取所需之量，以建製 0.03~1.59 mg/sample 在濾紙之五點以上檢量線。然後以 XRD 測定採集後濾紙與鋁板強度，使用基底標準吸收校正法得知樣本強度，以建立檢量線。偵測極限為 0.005 mg/sample。

### (五) 計算

依據社團法人日本作業環境測定協會方法 1002 結晶型游離二氧化矽分析方法之 X-ray 繞射分析法進行基底標準吸收校正法[2][4]計算濃度值(mg/m<sup>3</sup>)如下：

$$W = \frac{I_x \cdot K_f - b}{m}, \text{ mg}$$

$$C_1 = \frac{W}{V}, \text{ mg/m}^3$$

W：空氣中結晶型游離二氧化矽含量，mg

C<sub>1</sub>：空氣中有害物濃度，mg/m<sup>3</sup>

I<sub>x</sub>：樣品波峰強度

b：截距

m：斜率，counts/mg

K<sub>f</sub>：吸收校正因子

V：採樣體積，m<sup>3</sup>

$$Q = \frac{W}{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}, \%$$

W：空氣中結晶型游離二氧化矽含量，mg

Q：空氣中結晶型游離二氧化矽含量百分比，%

W<sub>1</sub>：採樣前濾紙重量，mg

W<sub>2</sub>：採樣後(含樣品)濾紙重量，mg

B<sub>1</sub>：採樣前現場空白濾紙平均重量，mg

B<sub>2</sub>：採樣後現場空白濾紙平均重量，mg

## 第五節 刨路作業導入防制措施

研究參考 NIOSH 提出之「Best Practice Engineering Control Guidelines to Control Worker Exposure to Respirable Crystalline Silica during Asphalt Pavement Milling」指引，利用水噴霧系統進行刨路作業粉塵的控制，本計畫共針對刨路作業環境進行 4 次水噴霧系統引入測試，第一次是利用小型噴霧系統(噴霧模組 1)進行測試，噴霧抑制評估，直接於刨路過程中進行噴霧抑制並進行採樣，並僅於駕駛員前方進行抑制；後續建立噴霧模組 2 進行 3 次噴霧抑制測試，一次是直接於刨路過程中進行噴霧抑制並進行採樣，另兩次則是先進行刨路過程採樣，再進行噴霧抑制採樣，以比較有無噴霧抑制的影響。在噴霧模組 2 的測試中，是同時針對駕駛員與刨刀確認員進行噴霧抑制測試。

模組 1 噴霧系統，主要如圖 10 所示，包含噴嘴、泵浦馬達以及水箱裝置，噴霧系統規劃有 8 個噴嘴、泵浦馬力為 150W，在 200 psi 輸出壓力下，噴霧出水量為每分鐘 100 cc。第一次測試實際架設於刨路機主要是在駕駛座前方，如圖 11 所示。



圖 10 模組 1 水噴霧系統



圖 11 模組 1 水噴霧系統於實際刨路應用

模組 2 噴霧系統，主要如圖 12 所示，包含噴嘴、泵浦馬達以及水箱裝置，噴霧系統規劃有 8 個噴嘴、泵浦馬力為 750W，在 70 psi 輸出壓力下，噴霧出水量為每分鐘 200 cc。模組 2 噴霧系統實際架設於駕駛座前方與刨刀側面，如圖 13 所示，可同時評估水噴霧系統對於駕駛員與刨刀確認員防護能力。(噴霧模組價格包含，加壓泵浦馬達 5000 元、噴嘴及噴霧管線 4000 元與水箱裝置 500 元，共 9500 元（不含施工費用）)。



圖 12 模組 2 水噴霧系統



圖 13 模組 2 水噴霧系統於實際刨路應用

## 第六節 健康問卷及統計分析方法

為了解刨路作業環境人員之暴露情形與健康情況，利用健康問卷之方式進行調查，問卷內容包涵工作場所之描述、自述性的健康狀況以及對工作環境的感受如何。在健康問卷內容部分，主要希望調查工作人員有關疾病或症狀方面相關資料，包含咳

嗽、痰、哮喘及呼吸困難等自覺症狀，並針對呼吸道、腸道、皮膚性疾病進行開放性問卷調查，以廣泛收集其他相關疾病及症狀之記錄。同時對於個人資料部分，則利用問卷調查個人相關資料，包含年齡、性別、工作時數等。在問卷收集上主要針對實際採樣之刨路作業環境進行調查，進以瞭解員工健康受到刨路作業之環境因素之可能影響。問卷內容並經職業衛生專家進行問卷審核及提供意見。

整合委員意見將整體健康問卷修正 (如附錄一)。同時本健康問卷，在完成專家效度審查後，並通過國立成功大學人類研究倫理審查委員會之 IRB 審查。

本研究問卷資料、定性與定量分析結果以 SPSS 12.0 進行資料建檔與分析。各地點區域採樣和個人採樣分析所得之有害物濃度，換算成標準狀態下(25°C、一大氣壓)之結果；並以算術平均數、標準偏差及全距來描述有害物濃度之集中趨勢與離散情形。由於樣本數僅有 30，利用 Wilcoxon signed rank test 分別來檢定刨刀確認員、駕駛員、人孔確認員和背景區域之總粉塵、可呼吸性粉塵、可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度的差異情形，顯著水準設定為 0.05。

## 第四章 結果與討論

### 第一節 刨路作業粉塵採樣結果

#### 一、 刨路路線 1 作業環境採樣

刨路路線 1 採樣日期為 107 年 7 月 9 日至 7 月 10 日，採樣路段範圍新竹縣光華陸橋與三民南路。背景區域採樣設置於光華陸橋起點，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業因有 2 路段，故施工時間分為 2 區段，採樣時間分別為晚間 09：00～09：40 及晚間 10：00～00：34，總採樣時間為 3 小時 15 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 31.8°C、溼度 78.1 %及風速 0.013 m/s。

表 12 為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 1 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.167 mg/m<sup>3</sup> 與 0.081 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 5.43、4.13 與 0.87 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性粉塵濃度則分別為 2.51、1.95 與 0.31 mg/m<sup>3</sup>。

表 12 刨路路線 1 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.167	0.081	0.48
刨刀確認員	5.43	2.51	0.46
駕駛員	4.13	1.95	0.47
人孔確認員	0.87	0.31	0.35

整體而言，當刨路作業開始後，3 型態作業人員之個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度是明顯高於週界環境，可呼吸性粉塵濃度範圍亦落在過去 Blute et al. (1999) 所指出刨路作業過程可呼吸性粉塵範圍 0.06 到 21.77 mg/m<sup>3</sup>[27]中，而在三組個人採樣人員中，人孔確認員之個人採樣濃度最低，主要原因為在刨路過程中刨刀確認員與駕駛員均是整個工作時間均留在刨路機上或旁，而人孔確認員在確認完道路上的人孔或障礙物後即可離開，因此其暴露在刨路產生之粉塵即少於其他兩人。

表 13 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 1 背景可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.80 mg/m<sup>3</sup>、0.60 mg/m<sup>3</sup> 與 ND。結果可知，背景與人孔確認員之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度均為 ND，人孔確認員在此項目個人採樣為未檢出，主因與前述相同。

由表中也可發現，就結晶游離二氧化矽之百分比來看，刨刀確認員與駕駛員之個人粉塵暴露是屬於第一類粉塵，雖然整體作業時間不到法規規定之 8 小時，以法規公式估算刨刀確認員與駕駛員之可呼吸性結晶型游離二氧化矽法規容許濃度分別是 0.28 與 0.27 mg/m<sup>3</sup>，與實際採樣結果相比這兩位人員之可呼吸性結晶型游離二氧化矽個人採樣結果明顯高於高於法規標準約 2-3 倍，因作業時間不及 8 小時，並無法指出個人暴露為超過第一類粉塵法規標準，但以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現在刨路作業過程中，作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有超過容許暴露標準的情形。

表 13 刨路路線 1 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.06	ND	ND	-
刨刀確認員	1.09	33.20*	0.80	0.28
駕駛員	0.79	35.77*	0.60	0.27
人孔確認員	0.13	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

## 二、 刨路路線 2 作業環境採樣

刨路路線 2 採樣日期為 107 年 7 月 19 日，採樣路段範圍新竹縣新埔鄉縣道 115 線 27-29k。背景區域採樣設置於縣道 115 線之 29k 處，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業分為 2 區段，採樣時間分別為上午 04：06～07：00 及 7：35～9：10，總採樣時間為 4 小時 29 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 32.1°C、溼度 84.2%及風速 0.210 m/s。

表 14 為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 2 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.096 與 0.041 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 2.32、6.17 與 0.68 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性濃度則分別為 0.95、2.81 與 0.25 mg/m<sup>3</sup>。

表 14 刨路路線 2 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.096	0.041	0.42
刨刀確認員	2.32	0.95	0.41
駕駛員	6.17	2.81	0.46
人孔確認員	0.68	0.25	0.37

表 15 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 2 背景可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.42 mg/m<sup>3</sup>、1.37 mg/m<sup>3</sup> 與 ND。

表 15 刨路路線 2 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.03	ND	ND	-
刨刀確認員	0.68	39.98*	0.42	0.24
駕駛員	2.19	42.14*	1.37	0.23
人孔確認員	0.07	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

就結果來看僅刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，雖刨路時間未達 8 小時，

不過若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.24 與 0.23 mg/m<sup>3</sup>，採樣暴露濃度分別是法規標準的 1.75 與 5.96 倍，進一步以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現在刨路作業過程中，作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有超過容許暴露標準的情形。

### 三、 刨路路線 3 作業環境採樣

刨路路線 3 採樣日期為 107 年 7 月 20 日，採樣路段範圍新竹縣新埔鄉縣道 115 線 30-31k。背景區域採樣設置於縣道 115 線之 30k 處，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業分為 3 區段，採樣時間分別為上午 03：58～07：00、8：00-8：30 及 10:00～10：53，總採樣時間為 4 小時 25 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 30.6°C、溼度 87.3% 及風速 0.260m/s。

表 16 為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 3 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.082 與 0.031 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 3.21、8.68 與 2.08 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性濃度則分別為 1.08、2.34 與 0.90 mg/m<sup>3</sup>。

表 16 刨路路線 3 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.082	0.031	0.38
刨刀確認員	3.21	1.08	0.34
駕駛員	8.68	2.34	0.27
人孔確認員	2.08	0.90	0.43

表 17 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 3 背景可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.45 mg/m<sup>3</sup>、1.38mg/m<sup>3</sup> 與 ND。

就結果來看僅刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依

其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，雖刨路時間未達 8 小時，不過若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.23 與 0.19 mg/m<sup>3</sup>，採樣暴露濃度分別是法規標準的 1.95 與 7.26 倍，進一步以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現在刨路作業過程中，作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有超過容許暴露標準的情形。

表 17 刨路路線 3 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.02	ND	ND	-
刨刀確認員	0.69	42.17*	0.45	0.23
駕駛員	1.72	50.44*	1.38	0.19
人孔確認員	0.18	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

#### 四、 刨路路線 4 作業環境採樣

刨路路線 4 採樣日期為 107 年 7 月 31 日，採樣路段範圍新竹縣寶山鄉峰城路。背景區域採樣設置於寶山鄉峰城路 789 號，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業因有 3 路段，故施工時間分為 3 區段，採樣時間分別為上午 5：12~6：30、6：30~8：30 及 9：00~12：00，總採樣時間為 6 小時 08 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 28.3°C、溼度 78.5 %及風速 0.105 m/s。本路段由於作業區段路面較窄小，因此作業人員僅有刨刀確認員與駕駛員兩人。

表 18 為路段背景區域採樣與刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 4 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.157 mg/m<sup>3</sup> 與 0.095 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員總粉塵濃度分別為 4.56 與 4.85 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則分別為 1.79 與 2.38 mg/m<sup>3</sup>。

表 18 刨路路線 4 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.157	0.095	0.61
刨刀確認員	4.56	1.79	0.39
駕駛員	4.95	2.38	0.49

表 19 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 4 背景可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.86 mg/m<sup>3</sup> 與 0.85 mg/m<sup>3</sup>。

就結果來看僅刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，雖刨路時間未達 8 小時，不過若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.23 與 0.28 mg/m<sup>3</sup>，採樣暴露濃度分別是法規標準的 3.74 與 3.04 倍，若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現在刨路作業過程中，作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有超過容許暴露標準的情形。

表 19 刨路路線 4 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.09	ND	ND	-
刨刀確認員	1.90	40.85*	0.86	0.23
駕駛員	2.31	33.91*	0.85	0.28

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

#### 五、 刨路路線 5 作業環境採樣

刨路路線 5 採樣日期為 107 年 8 月 8 日，採樣路段範圍新竹市香山區虎林街。背景區域採樣設置於虎林街，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業為單一路段，採樣時間分別為上午 5：25～9：33，總採樣時間為 4 小時 16 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 30.9°C、溼度 73.1 %及風速 0.155 m/s。本路段由於作業區段路面較窄小，因此作業

人員僅有駕駛員與人孔確認員兩人。

表 20 為路段背景區域採樣與刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 5 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.159 mg/m<sup>3</sup> 與 0.083 mg/m<sup>3</sup>；駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 3.65 與 0.93 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則分別為 1.53 與 0.42 mg/m<sup>3</sup>。

表 20 刨路路線 5 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.159	0.083	0.52
駕駛員	3.65	1.53	0.42
人孔確認員	0.93	0.42	0.45

表 21 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 5 背景可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；駕駛員與人孔確認員可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.69 mg/m<sup>3</sup> 與 ND。

表 21 刨路路線 5 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.05	ND	ND	-
駕駛員	1.03	41.18*	0.69	0.23
人孔確認員	0.15	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

就結果來看僅駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，雖刨路時間未達 8 小時，不過若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.23 mg/m<sup>3</sup>，採樣暴露濃度是法規標準的 3 倍，若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現到在刨路作業過程中，駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有超過容許暴露標準的情形。

## 六、 刨路路線 6 作業環境採樣

刨路路線 6 採樣日期為 107 年 8 月 9 日，採樣路段範圍新竹市北區南勢二街、南勢六街。背景區域採樣設置於南勢二街，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業因有 4 路段，故施工時間分為 4 區段，採樣時間分別為上午 10：21～12：09、下午 13：14～14：20、14：45～15：15 及 15：25～16：30，總採樣時間為 4 小時 29 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 32.9°C、溼度 72.5 %及風速 0.181 m/s。本路段由於作業區段路面較窄小，因此作業人員僅有刨刀確認員與駕駛員兩人。

表 22 為路段背景區域採樣與刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 6 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.138 mg/m<sup>3</sup> 與 0.073 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員總粉塵濃度分別為 4.38 與 4.11 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則分別為 2.15 與 2.01 mg/m<sup>3</sup>。

表 22 刨路路線 6 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.138	0.073	0.52
刨刀確認員	4.38	2.15	0.49
駕駛員	4.11	2.01	0.49

表 23 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 6 背景可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.86 mg/m<sup>3</sup> 與 0.86 mg/m<sup>3</sup>。

表 23 刨路路線 6 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.05	ND	ND	-
刨刀確認員	1.52	36.35*	0.86	0.26
駕駛員	1.45	38.31*	0.86	0.25

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

就結果來看僅刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，雖刨路時間未達 8 小時，不過若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.26 與 0.25  $\text{mg}/\text{m}^3$ ，採樣暴露濃度分別是法規標準的 3.31 與 3.44 倍，同樣若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現在刨路作業過程中，作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有超過容許暴露標準的情形。

#### 七、 刨路路線 7 作業環境採樣

刨路路線 7 採樣日期為 107 年 8 月 22 日，採樣路段範圍新竹縣博愛街、莊敬北路。背景區域採樣設置於博愛街，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業因有 2 路段，故施工時間分為 2 區段，採樣時間分別為上午 5：14~9：30 及 10：15~13：50，總採樣時間為 7 小時 51 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 28.0°C、溼度 88.1 %及風速 0.115  $\text{m}/\text{s}$ 。

表 24 為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 7 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.095  $\text{mg}/\text{m}^3$  與 0.043  $\text{mg}/\text{m}^3$ ；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 2.59、3.11 與 0.63  $\text{mg}/\text{m}^3$ ；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性粉塵濃度則分別為 1.25、1.98 與 0.31  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表 24 刨路路線 7 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	可呼吸性粉塵 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.095	0.043	0.45
刨刀確認員	2.59	1.25	0.48
駕駛員	3.31	1.98	0.60
人孔確認員	0.63	0.31	0.49

表 25 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 7 背景可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.54、0.93 與 0.098  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

就結果來看刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性結晶游離二氧化矽均是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，同時此路段刨路作業接近 8 小時，若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.22、0.21 與 0.27 mg/m<sup>3</sup>。由結果可知，本路段人孔確認員雖有檢出可呼吸性結晶游離二氧化矽，不過其濃度是低於法規標準的，這與前述路段是類似的；而在刨刀確認員與駕駛員部分暴露量分別是法規標準的 2.45 與 4.43 倍，若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現到在刨路作業過程中，作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有超過容許暴露標準的情形。

表 25 刨路路線 7 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.05	ND	ND	-
刨刀確認員	1.43	44.15*	0.54	0.22
駕駛員	2.32	44.91*	0.93	0.21
人孔確認員	0.32	34.47*	0.098	0.27

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

#### 八、 刨路路線 8 作業環境採樣

刨路路線 8 採樣日期為 107 年 10 月 08 日，採樣路段範圍新竹縣竹北市中央路。背景區域採樣設置於中央路，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業為單一路段，採樣時間為晚上 8：20~4：25，總採樣時間為 8 小時 5 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 27.3 °C、溼度 75.7 %及風速 0.910 m/s。

表 26 刨路路線 8 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.095	0.045	0.47
刨刀確認員	1.14	0.51	0.45
駕駛員	0.55	0.22	0.40
人孔確認員	0.41	0.18	0.44

表 26 為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 8 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.095 mg/m<sup>3</sup> 與 0.045 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 1.14、0.55 與 0.41 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性粉塵濃度則分別為 0.51、0.22 與 0.18 mg/m<sup>3</sup>。

表 27 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 8 背景可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 ND、0.11 mg/m<sup>3</sup> 與 ND。

結果顯示僅駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，若以法規公式計算，其容許濃度為 0.39 mg/m<sup>3</sup>，若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現駕駛員暴露是低於容許暴露標準，不過高於美國 OSHA 標準值 0.05 mg/m<sup>3</sup>。

表 27 刨路路線 8 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.03	ND	ND	-
刨刀確認員	0.82	ND	ND	-
駕駛員	0.53	23.87*	0.11	0.39
人孔確認員	0.30	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

#### 九、 刨路路線 9 作業環境採樣

刨路路線 10 採樣日期為 107 年 10 月 09 日，採樣路段範圍新竹縣竹北市興隆路五段、福興東路一段右側。背景區域採樣設置於中央路，採樣時間為 4 小時；刨路工

程作業有 2 路段，刨刀確認員與駕駛員採樣時間分別為晚上 8：20～隔天凌晨 3：10，人孔確認員為晚上 8：20～隔天凌晨 2：10，總採樣時間則分別為 6 小時 50 分鐘及 5 小時 50 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 27.2 °C、溼度 85.1 %及風速 0.730 m/s。

表 28 為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 9 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.095 mg/m<sup>3</sup> 與 0.045 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 0.73、0.96 與 0.25 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性粉塵濃度則分別為 0.29、0.37 與 0.11 mg/m<sup>3</sup>。

表 28 刨路路線 9 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.095	0.045	0.47
刨刀確認員	0.73	0.29	0.40
駕駛員	0.96	0.37	0.39
人孔確認員	0.25	0.11	0.44

表 29 刨路路線 9 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.03	ND	ND	-
刨刀確認員	0.68	24.57*	0.17	0.38
駕駛員	0.79	31.86*	0.25	0.30
人孔確認員	0.16	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

表 29 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之可呼吸性

性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 9 背景可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.17、0.25 mg/m<sup>3</sup> 與 ND。

結果顯示刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，雖刨路時間未達 8 小時，不過若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.38 與 0.30 mg/m<sup>3</sup>，若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現作業人員暴露是低於容許暴露標準，不過高於美國 OSHA 標準值 0.05 mg/m<sup>3</sup>。

#### 十、 刨路路線 10 作業環境採樣

刨路路線 10 採樣日期為 107 年 10 月 10 日，採樣路段範圍新竹縣竹北市福興東路一段左側、新溪街。背景區域採樣設置於中央路，採樣時間為 4 小時；刨路工程作業有 2 路段，採樣時間為晚上 8：00～隔天凌晨 3：30，總採樣時間為 7 小時 30 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 23.0 °C、溼度 82.0 %及風速 0.410 m/s。

表 30 為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 10 背景總粉塵與可呼性粉塵濃度分別為 0.095 mg/m<sup>3</sup> 與 0.045 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 0.53、0.89 與 0.26 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性粉塵濃度則分別為 0.32、0.41 與 0.19 mg/m<sup>3</sup>。

表 30 刨路路線 10 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.095	0.045	0.47
刨刀確認員	0.53	0.32	0.60
駕駛員	0.89	0.41	0.46
人孔確認員	0.26	0.19	0.73

表 31 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 10 背景可呼吸性性結晶型游離二氧化

矽濃度為 ND；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.12、0.23 mg/m<sup>3</sup> 與 ND。

表 31 刨路路線 10 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.03	ND	ND	-
刨刀確認員	0.43	30.96*	0.12	0.30
駕駛員	0.71	35.51*	0.23	0.27
人孔確認員	0.16	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

結果顯示刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，雖刨路時間未達 8 小時，不過若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.30 與 0.27 mg/m<sup>3</sup>，若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度，可以發現作業人員暴露是低於容許暴露標準，不過高於美國 OSHA 標準值 0.05 mg/m<sup>3</sup>。

#### 十一、快速道路刨路路線 11 作業環境採樣

刨路路線 11 採樣日期為 107 年 10 月 18 日，採樣路段範圍新北市林口區台 61 線 17-19.5 K。本路段位於快速道路上，由於無法設置背景採樣點，因此無法進行背景區域採樣；刨路工程作業為單一路段，採樣時間為晚上 9：15～隔天凌晨 00：10，總採樣時間為 2 小時 55 分鐘。採樣期間平均環境條件為溫度 23.8 °C、溼度 84.0 %及風速 4.420 m/s。

表 32 為路段背景區域採樣與刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨刀確認員與駕駛員總粉塵濃度分別為 1.67 與 1.53 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則分別為 0.72 與 0.46 mg/m<sup>3</sup>。

表 33 為刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽

濃度表，結果顯示刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.30 與 0.17 mg/m<sup>3</sup>。

結果顯示刨刀確認員與駕駛員可呼吸性結晶游離二氧化矽是有檢出的，且依其可呼吸性結晶游離二氧化矽比列來看均屬於第一種粉塵，雖刨路時間未達 8 小時，不過若以法規公式計算，其容許濃度分別為 0.30 與 0.43 mg/m<sup>3</sup>，若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度，可以發現作業人員暴露是低於容許暴露標準，不過高於美國 OSHA 標準值 0.05 mg/m<sup>3</sup>。

表 32 刨路路線 11 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
刨刀確認員	1.67	0.72	0.43
駕駛員	1.53	0.46	0.30

表 33 刨路路線 11 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
刨刀確認員	0.46	28.01*	0.30	0.30
駕駛員	0.35	21.07*	0.17	0.43

註 1：\*為第一種粉塵 ND 表示低於檢量下限濃度

## 第二節 刨路作業水噴霧系統抑制測試結果

本計畫在水噴霧系統共有兩個模組，期中前為測試階段，為使用模組 1，期中後則是採樣噴霧出水量較大之模組 2 進行測試，同時期中前僅針對駕駛員進行噴霧抑制測試，期中後則是針對駕駛員與刨刀測試員進行抑制測試。模組說明如后，模組 1 噴霧系統，包含噴嘴、泵浦馬達以及水箱裝置，噴霧系統規劃有 8 個噴嘴、泵浦馬力為

150W，在 200 psi 輸出壓力下，噴霧出水量為每分鐘 100 cc；模組 2 噴霧系統，包含噴嘴、泵浦馬達以及水箱裝置，噴霧系統規劃有 8 個噴嘴、泵浦馬力為 750W，在 70 psi 輸出壓力下，噴霧出水量為每分鐘 200 cc。

表 34 為本計畫針對刨路作業導入水噴霧系統之測試時間與環境條件說明，刨路路線為 12-15 路段，刨路路段 12 為期中前採用模組 1 之測試，而路段 13-15 則為採樣模組 2 之測試，同時由於路段 13-15 為快速道路，因此沒有進行背景採樣調查。

表 34 刨路路線 12-15 粉塵防制措施導入基本資料表

刨路路線	背景採樣時間	刨路採樣時間(無噴霧)	刨路採樣時間(噴霧開啟)	溫度(°C)	相對濕度(%)	風速(m/s)	備註*
刨路路線 12	4 小時	-	2 小時 50 分	28	82	0.215	平面道路
刨路路線 13	-	-	2 小時 30 分	23	90	3.5	快速道路內側，順風
刨路路線 14	-	2 小時 40 分	1 小時 50 分	19	80	6.5	快速道路外側，逆風
刨路路線 15	-	1 小時 05 分	2 小時	23	79	3.5	快速道路內側，順風

\*註：刨路機行進的方向與風是相反為逆風；反之，與風是相同為順風；“-”表示未採樣

刨路路線 12 採樣日期為 107 年 8 月 23 日，採樣路段範圍新竹縣竹北市新工六街、保泰五路。採樣條件如表 34 所示。表 35 為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨路線 12 背景總粉塵與可呼吸性粉塵濃度分別為 0.086 mg/m<sup>3</sup> 與 0.041 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員總粉塵濃度分別為 1.66、1.91 與 0.98 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性粉塵濃度則分別為 0.95、0.98 與 0.53。

表 35 刨路路線 12 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/總粉塵比例
背景區域採樣	0.086	0.041	49
刨刀確認員 (無噴霧)	1.66	0.95	54
駕駛員 (有噴霧)	1.91	0.98	51
人孔確認員 (無噴霧)	0.98	0.53	54

表 36 則為路段背景區域採樣與刨路作業時 3 型態作業人員個人採樣之可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨路線 12 背景可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度為 ND；刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.40 mg/m<sup>3</sup>、0.33 mg/m<sup>3</sup> 與 0.17 mg/m<sup>3</sup>。就結晶游離二氧化矽之百分比來看，3 位作業人員粉塵暴露均屬於第一類粉塵，就法規公式計算可呼吸性結晶型游離二氧化矽法規容許濃度分別是 0.28、0.33 與 0.26 mg/m<sup>3</sup>。

表 36 刨路路線 12 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二氧化矽含量百分比 (%)	結晶型游離二氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二氧化矽法規容許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
背景區域採樣	0.02	ND	ND	-
刨刀確認員 (無噴霧)	0.47	34.34*	0.40	0.28
駕駛員 (有噴霧)	0.47	28.22*	0.33	0.33
人孔確認員 (無噴霧)	0.20	35.75*	0.17	0.26

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

就總粉塵與可呼吸性粉塵結果來看，作業人員個人採樣之結果是明顯高於背景值的，計畫於駕駛員前方導入水噴霧系統後，以粉塵濃度來看，與刨刀確認員尚無明顯

差異。

若就駕駛員與刨刀確認員之可呼吸性結晶型游離二氧化矽的結果來看，於駕駛員處噴霧後的濃度為  $0.33 \text{ mg/m}^3$ ，其第一類粉塵法規標準濃度為  $0.33 \text{ mg/m}^3$ ，而刨刀確認員之暴露濃度為  $0.40 \text{ mg/m}^3$ ，其第一類粉塵法規標準濃度為  $0.28 \text{ mg/m}^3$ ，參考前述的刨路採樣結果，基本上駕駛員暴露情形與刨刀確認員相似，因此噴霧模組 1 可能對於可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度有抑制作用，但抑制效果並不明顯。

因此藉由路段 12 之測試結果，修改建立水噴霧模組 2 系統，提高噴霧出水量，也將噴霧系統除了裝設於駕駛員前方外，亦裝設於刨刀側，可同時針對駕駛員與刨刀確認人員進行暴露防制，驗證實際噴霧量是否具有粉塵抑制能力。

刨路路線 13-15 採樣日期為 107 年 11 月 14 日至 16 日，採樣路段範圍分別是路段 13：台 61 線 30k~31k 400m、路段 14：台 61 線 30k~30k 657m 與路段 15：台 61 線 30k 660m~31k 400m。路段 13 與前述路段 12 相同，均直接進行噴霧防制並採樣分析；路段 14-15 則是分別進行有噴霧與無噴霧之採樣分析，以評估導入之防治設備抑制效能。其背景採樣時間、實際噴霧採樣時間及採樣期間平均環境條件如表 34。

表 37 為路段 13 於噴霧模組開啟後，刨路作業時作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示刨刀確認員與駕駛員總粉塵濃度分別為 0.75 與  $0.20 \text{ mg/m}^3$ ；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則分別為 0.38 與  $0.091 \text{ mg/m}^3$ 。表 38 則為路段 13 於噴霧模組開啟後，刨路作業時作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨刀確認員、駕駛員與人孔確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度均為 ND。

由結果來看，當導入水噴霧模組 2 後，在駕駛員與刨刀確認員之可呼吸性結晶型游離二氧化矽個人採樣結果均為 ND，這顯示水噴霧系統的確能有效抑制可呼吸性結晶型游離二氧化矽的逸散。

表 37 刨路路線 13 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/ 總粉塵比例
刨刀確認員(有噴霧)	0.75	0.38	0.51
駕駛員(有噴霧)	0.20	0.091	0.46

表 38 刨路路線 13 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二 氧化矽含量百 分比 (%)	結晶型游離二 氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二 氧化矽法規容 許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
刨刀確認員(有噴霧)	0.21	ND	ND	-
駕駛員(有噴霧)	0.16	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

表 39 為路段 14 於噴霧模組開啟前後，刨路作業時作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示未開啟噴霧時刨刀確認員與駕駛員總粉塵濃度分別為 1.51 與 1.56 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則分別為 0.77 與 0.68 mg/m<sup>3</sup>。開啟噴霧後刨刀確認員與駕駛員總粉塵濃度分別降至為 0.51 與 0.43 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則降為 0.28 與 0.19 mg/m<sup>3</sup>。

表 39 刨路路線 14 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/ 總粉塵比例
刨刀確認員(沒噴霧)	1.51	0.77	0.53
駕駛員(沒噴霧)	1.56	0.68	0.44
刨刀確認員(有噴霧)	0.51	0.28	0.39
駕駛員(有噴霧)	0.43	0.19	0.44

表 40 則為路段 14 於噴霧模組開啟前後，刨路作業時作業人員個人採樣之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨刀確認員在開啟前後可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度均為 ND；駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度則由 0.26 mg/m<sup>3</sup> 降至 ND。

由粉塵與可呼吸性結晶型游離二氧化矽採樣結果均顯示，當開啟噴霧系統後對於粉塵與可呼吸性結晶型游離二氧化矽均有顯著抑制效果，這代表水噴霧模組 2 將水量增加至 0.2 lpm 後，對於抑制有明顯之作用。

表 40 刨路路線 14 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二 氧化矽含量百 分比 (%)	結晶型游離二 氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二 氧化矽法規容 許濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
刨刀確認員(沒噴霧)	0.19	ND	ND	-
駕駛員(沒噴霧)	0.42	25.90*	0.26	0.36
刨刀確認員(有噴霧)	0.16	ND	ND	-
駕駛員(有噴霧)	0.13	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

表 41 為路段 15 於噴霧模組開啟前後，刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之總粉塵與可呼吸性粉塵濃度表，結果顯示未開啟噴霧時刨刀確認員與駕駛員總粉塵濃度分別為 2.57 與 2.38 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則分別為 1.16 與 1.01 mg/m<sup>3</sup>。開啟噴霧後刨刀確認員與駕駛員總粉塵濃度分別降至為 0.93 與 0.28 mg/m<sup>3</sup>；刨刀確認員與駕駛員可呼吸性粉塵濃度則降為 0.44 與 0.13 mg/m<sup>3</sup>。

表 41 刨路路線 15 作業環境與作業人員粉塵濃度表

採樣人員或地點	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性/ 總粉塵比例
刨刀確認員(沒噴霧)	2.57	1.16	0.45
駕駛員(沒噴霧)	2.38	1.01	0.42
刨刀確認員(有噴霧)	0.93	0.44	0.47
駕駛員(有噴霧)	0.28	0.13	0.46

表 42 則為路段 15 於噴霧模組開啟前後，刨路作業時 2 型態作業人員個人採樣之可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度表，結果顯示刨刀確認員在開啟前後可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度為 0.66 mg/m<sup>3</sup> 與 ND；駕駛員可呼吸性性結晶型游離二氧化矽濃度則由 0.57 mg/m<sup>3</sup> 降至 ND。

如同路段 14 之結果，就粉塵與可呼吸性性結晶型游離二氧化矽採樣結果均顯示，當開啟噴霧系統後對於粉塵與可呼吸性性結晶型游離二氧化矽均有顯著抑制效果。

表 42 刨路路線 15 作業環境與作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度表

採樣人員或地點	粉塵重 (mg)	結晶型游離二 氧化矽含量百 分比 (%)	結晶型游離二 氧化矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	結晶型游離二 氧化矽法規容 許濃度(mg/m <sup>3</sup> )
刨刀確認員(沒噴霧)	0.32	32.80*	0.66	0.29
駕駛員(沒噴霧)	0.3	30.89*	0.57	0.3
刨刀確認員(有噴霧)	0.22	ND	ND	-
駕駛員(有噴霧)	0.17	ND	ND	-

註 1：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度

### 第三節 健康問卷資料分析結果

本研究針對刨路作業人員進行問卷調查，問卷內容包括基本資料、個人健康狀況、個人防護及工作環境狀況等項目，共收集 30 份問卷。受訪對象的平均年齡為

36.7±9.95 歲，大多為男性 (96.7%);從事刨路工作的總年資平均為 10.4±13.1 年，一星期平均的工作時數為 48.1±15.1 小時。在教育程度方面，以高中職最多 (60.0%)，其次為大學 (大專) (20.0%)；在婚姻狀況方面，已婚者佔 60.0%。在目前公司的工作年資以 1-2 年最多 (30.0%)，其次為 1 年以下 (23.3%)；上班時段主要為白天 (76.7%)；過去一個月每天從事刨路作業的工作時間，以 5-8 小時最多 (50.0%)，其次為高於 8 小時 (40.0%) (表 43)。

表 43 受訪對象之基本資料(n=30)

項目	分類	人數(%)	項目	分類	人數(%)
性別	男性	29 (96.7%)	在此機構工作年資	1 年以下	7(23.3%)
	女性	1 (3.3%)		1-2 年	9(30.0%)
教育程度	國小及國小以下	1 (3.3%)		3-4 年	5(16.7%)
	國中(初中)	5 (16.7%)		5-6 年	3(10.0%)
	高中職	18 (60.0%)		7 年以上	6(20.0%)
	大學(大專)	6 (20.0%)		一般正常上班時段	白天
	研究所以上	0(0%)	晚上		4 (13.3%)
		白天或晚上	3 (10.0%)		
婚姻狀況	單身	12 (40.0%)	過去一個月 在刨路作業 現場之每天 工作時間	從未	1 (3.3%)
	已婚	18 (60.0%)		每天 2-4 小時	2 (6.7%)
年齡(歲)	36.7±9.95 <sup>a</sup>			每天 5-8 小時	15 (50.0%)
刨路工作之總年資 (年)	10.4±13.1 <sup>a</sup>			每天高於 8 小時	12 (40.0%)
一星期工作時數 (小時)	48.1±15.1 <sup>a</sup>				

a:平均數±標準差

表 44 為刨路作業人員之健康狀況。在呼吸道疾病方面，有 1 名勞工同時患有慢性支氣管炎、肺炎和塵肺病，有 2 名勞工患有氣喘，有 3 名勞工患有過敏性鼻炎。在

熱危害疾病方面，以曾經發生熱中暑的比率最高 (16.7%)。另外曾罹患呼吸道和熱危害疾病的受訪對象，都表示不知道或不清楚疾病發生與工作環境有關。

表 44 受訪對象之健康狀況(n=30)

疾病種類	有	無	您是否認為與工作環境有關(無症狀可不填)		
			不知道/不清楚	是	否
呼吸道疾病					
肺炎	1 (3.3%)	29(96.7%)	1(100%)	0(0%)	0(0%)
塵肺病	1 (3.3%)	29(96.7%)	1(100%)	0(0%)	0(0%)
慢性支氣管炎	1 (3.3%)	29(96.7%)	1(100%)	0(0%)	0(0%)
氣喘	2 (6.7%)	28(93.3%)	2(100%)	0(0%)	0(0%)
過敏性鼻炎	3 (10.0%)	27(90.0%)	2(66.7%)	0(0%)	1(33.3%)
熱危害疾病					
熱中暑	5 (16.7%)	25(83.3%)	2 (40.0%)	0 (0.0%)	3 (60.0%)
熱衰竭	0 (0.0%)	30(100%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
熱痙攣	1 (3.3%)	29(96.7%)	1 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
失水	0 (0.0%)	30(100%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)

表 45 為刨路作業人員自覺之健康症狀，皆以從未有各症狀的比例最高。在眼睛方面，經常及總是 (每週 3 天以上)「眼睛疲勞」症狀的比率較其他項目高 (13.3%)。在呼吸道方面，經常及總是「喉嚨乾澀」、「鼻塞、流鼻水或鼻竇炎」、「咳嗽」和「有痰」的比率，分別為 16.6%、16.7%、13.3%和 13.4%。在皮膚方面，經常及總是「濕疹」症狀的比率較其他項目高 (10.0%)。在其他症狀方面，經常及總是「肩頸及背部僵硬疼痛」症狀的比率最高 (36.6%)。另外，經常及總是有「異常疲倦」、「常有昏睡感」和「緊張、易怒或焦躁」的比率分別為 23.3%、26.7%和 23.4%。和同年齡的一般人比較，認為目前自己的身體健康狀況為「普通」的人佔最多(66.7%)。

表 45 受訪對象自覺之健康症狀(n=30)

症狀種類	從未 (沒有)	很少 (每週1天 以下)	偶爾 (1~2天/週)	經常 (3~4天/ 週)	總是 (5~7天/ 週)	當離開工作場所後, 症狀 是否減輕	
						是	否
眼睛方面							
眼睛紅腫	21 (70.0%)	4 (13.3%)	4 (13.3%)	0 (0.0%)	1 (3.3%)	8 (88.9%)	1 (11.1%)
分泌物較多	23 (76.7%)	2 (6.7%)	3 (10.0%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	6 (85.7%)	1 (14.3%)
眼睛疲勞	15 (50.0%)	2 (6.7%)	9 (30.0%)	1 (3.3%)	3 (10.0%)	13 (86.7%)	2 (13.3%)
眼睛乾癢或刺激	19 (63.3%)	2 (6.7%)	6 (20.0%)	1 (3.3%)	2 (6.7%)	9 (81.8%)	2 (18.2%)
呼吸道方面							
喉嚨乾澀	21 (70.0%)	2 (6.7%)	2 (6.7%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)	8 (88.9%)	1 (11.1%)
鼻塞、流鼻水或鼻竇炎	20 (66.7%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)	3 (10.0%)	2 (6.7%)	8 (80.0%)	2 (20.0%)
咳嗽	17 (56.7%)	6 (20.0%)	3 (10.0%)	4 (13.3%)	0 (0.0%)	10 (76.9%)	3 (23.1%)
有痰	18 (60.0%)	5 (16.7%)	3 (10.0%)	2 (6.7%)	2 (6.7%)	9 (75.0%)	3 (25.0%)
呼吸急促	24 (80.0%)	4 (13.3%)	2 (6.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	6 (100.0%)	0 (0.0%)
喘鳴	25 (83.3%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	5 (100.0%)	0 (0.0%)
胸悶	27 (90.0%)	2 (6.7%)	1 (3.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (66.7%)	1 (33.3%)
皮膚方面							
紅腫	28 (93.3%)	2 (6.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (100.0%)	0 (0.0%)
水泡	27 (90.0%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	0 (0.0%)	3 (100.0%)	0 (0.0%)
脫皮脫屑	25 (83.3%)	3 (10.0%)	2 (6.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	5 (100.0%)	0 (0.0%)
乾燥及發癢	21 (70.0%)	4 (13.3%)	3 (10.0%)	0 (0.0%)	2 (6.7%)	7 (77.8%)	2 (22.2%)
濕疹	24 (80.0%)	2 (6.7%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	2 (6.7%)	4 (66.7%)	2 (33.3%)
其他方面							
異常的疲倦	13 (43.3%)	1 (3.3%)	9 (30.0%)	4 (13.3%)	3 (10.0%)	14 (77.8%)	4 (22.2%)
常有昏睡感	13 (43.3%)	3 (10.0%)	6 (20.0%)	5 (16.7%)	3 (10.0%)	14 (82.4%)	3 (17.6%)
緊張、易怒或焦燥	14 (46.7%)	3 (10.0%)	6 (20.0%)	5 (16.7%)	2 (6.7%)	14 (87.5%)	2 (12.5%)
肩頸及背部僵硬疼痛	10 (33.3%)	4 (13.3%)	5 (16.7%)	7 (23.3%)	4 (13.3%)	16 (80.0%)	4 (20.0%)
記憶力減退	21 (70.0%)	6 (20.0%)	2 (6.7%)	1 (3.3%)	0 (0.0%)	9 (100.0%)	0 (0.0%)
頭昏眼花	23 (76.7%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)	2 (6.7%)	0 (0.0%)	7 (100.0%)	0 (0.0%)
感覺沮喪	19 (63.3%)	4 (13.3%)	3 (10.0%)	4 (13.3%)	0 (0.0%)	11 (100.0%)	0 (0.0%)
噁心反胃	24 (80.0%)	3 (10.0%)	1 (3.3%)	2 (6.7%)	0 (0.0%)	5 (83.3%)	1 (16.7%)
頭痛	20 (66.7%)	3 (10.0%)	5 (16.7%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	8 (80.0%)	2 (20.0%)
手腕麻木	24 (80.0%)	1 (3.3%)	2 (6.7%)	3 (10.0%)	0 (0.0%)	5 (83.3%)	1 (16.7%)

表 46 為刨路作業人員之個人防護情形，60.0%的受訪者在工作時總是會進行「水分或電解質補充、適度休息」。在「工作時有穿上工作專用防護衣服」項目，以總是最多 (63.3%)，但仍有 23.3%受訪者從未穿上工作專用防護衣服；「工作時有戴口罩」項目以從未戴口罩最多 (50.0%)，但尚有 23.3%受訪者總是會戴口罩；「工作時有戴手套」項目以從未戴手套最多 (36.7%)，但有 26.7%受訪者總是會配戴手套。在「工作結

束有洗手」項目，以總是最多 (93.3%)，並且多會(76.7%)使用一般肥皂或清潔劑洗手。

表 46 受訪對象工作時之個人防護情形(n=30)

項目	從未 (沒有)	很少 (每週 1 天 以下)	偶爾 (1~2 天/週)	經常 (3~4 天/週)	總是 (5~7 天/週)
水分或電解質補充、適度休息	0 (0.0%)	3 (10.0%)	1 (3.3%)	8 (26.7%)	18 (60.0%)
工作時有穿上工作專用防護衣服	7 (23.3%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	2 (6.7%)	19 (63.3%)
工作時戴口罩	15 (50.0%)	6 (20.0%)	0 (0.0%)	2 (6.7%)	7 (23.3%)
工作時有戴手套	11 (36.7%)	5 (16.7%)	2 (6.7%)	4 (13.3%)	8 (26.7%)
工作結束有洗手	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	28 (93.3%)
洗手時使用一般肥皂或清潔劑	2 (6.7%)	0 (0.0%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)	23 (76.7%)

在其他防護具使用種類方面，受訪對象有戴安全帽的比率佔 43.3%、有穿反光背心者佔 10.0%和戴耳塞佔 3.3%。在口罩使用種類方面，以活性碳口罩最多 (47.1%)，其次為布口罩 (29.4%)。在防護手套部份，全部皆穿戴布手套。

表 47 為受訪對象對工作環境的自覺感受，在「風量大，會影響工作操作」、「日曬強，會刺激皮膚」、「有菸味」及「粉塵燻煙」項目皆以回答總是的比率最高，分別為 36.7%、36.7%、50%及 56.7%。在「噪音太大」、「感覺有振動」項目，回答總是的比率分別為 36.7%、36.7%，但也分別有 43.3%、36.7%的受訪者從未有相關感受。在同一時間，受訪對象的刨路作業現場平均有 13.4±8.4 名工作人員。

表 48 為刨路作業人員對工作環境之滿意度調查。在「工作環境整體感受」、「工作環境之舒適度」、「工作環境之安全衛生條件滿意度」皆以普通最多 (66.7%、66.7%、56.7%)。

表 47 受訪對象過去一個月在工作時對刨路作業環境的自覺感受(n=30)

項目	從未 (沒有)	很少 (每週1天以 下)	偶爾 (1~2天/週)	經常 (3~4天/週)	總是 (5~7天/週)
風量大，會影響工作操作	7 (23.3%)	2 (6.7%)	6 (20.0%)	4 (13.3%)	11 (36.7%)
日曬強，會刺激皮膚	9 (30.0%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)	5 (16.7%)	11 (36.7%)
空氣潮濕	18 (60.0%)	6 (20.0%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)
空氣乾燥	20 (66.7%)	5 (16.7%)	2 (6.7%)	2 (6.7%)	1 (3.3%)
噪音太大	13 (43.3%)	4 (13.3%)	0 (0.0%)	2 (6.7%)	11 (36.7%)
感覺有振動	11 (36.7%)	6 (20.0%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	11 (36.7%)
有菸味	8 (26.7%)	5 (16.7%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	15 (50.0%)
空氣中有霉味	23 (76.7%)	5 (16.7%)	2 (6.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
化學藥劑或清潔劑的味道	20 (66.7%)	4 (13.3%)	2 (6.7%)	1 (3.3%)	3 (10.0%)
其他異味(體臭、食物發臭)	21 (70.0%)	7 (23.3%)	0 (0.0%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)
粉塵燻煙	7 (23.3%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)	1 (3.3%)	17 (56.7%)

表 48 作業人員對工作環境整體滿意度

項目	很滿意	滿意	普通	不滿意	很不滿意
工作環境整體感受	1 (3.3%)	2 (6.6%)	20 (66.7%)	3 (10.0%)	4 (13.3%)
工作環境之舒適度	0 (0.0%)	1 (3.3%)	20 (66.7%)	5 (16.7%)	4 (13.3%)
工作環境之安全衛生條件滿意度	2 (6.7%)	6 (20.0%)	17 (56.7%)	4 (13.3%)	1 (3.3%)

#### 第四節 刨路作業環境粉塵濃度之比較

表 49-51 顯示刨刀確認員、駕駛員、人孔確認員和背景區域採樣之總粉塵、可呼吸性粉塵及可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分布之比較。

在總粉塵部分，刨刀確認員、駕駛員、人孔確認員總粉塵平均濃度為  $2.66 \pm 1.71 \text{ mg/m}^3$  (平均數 $\pm$ 標準差)、 $3.54 \pm 2.50 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.76 \pm 0.59 \text{ mg/m}^3$ ，分別明顯高於背景區域採樣值  $0.12 \pm 0.03 \text{ mg/m}^3$  ( $p=0.008$ ;  $p=0.005$ ;  $p=0.012$ )。另外，刨刀確認員、駕駛員總粉塵暴露濃度皆高於人孔確認員，有統計上的顯著差異( $p=0.018$ ;  $p=0.012$ )。駕駛員的總粉塵暴露濃度雖然高於刨刀確認員，但無統計上的顯著差異( $p=0.333$ )。

在可呼吸性粉塵部分，刨刀確認員、駕駛員、人孔確認員可粉塵平均濃度為  $1.16\pm 0.77 \text{ mg/m}^3$ 、 $1.50\pm 0.95 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.33\pm 0.25 \text{ mg/m}^3$ ，分別明顯高於背景區域採樣值  $0.06\pm 0.02 \text{ mg/m}^3$  ( $p=0.008$ ;  $p=0.005$ ;  $p=0.012$ )。另外，刨刀確認員、駕駛員總粉塵暴露濃度皆高於人孔確認員，有統計上的顯著差異 ( $p=0.018$ ;  $p=0.012$ )。駕駛員的可呼吸性粉塵平均濃度雖然高於刨刀確認員，但無統計上的顯著差異 ( $p=0.333$ )。

表 49 彙整各刨路路段總粉塵、可呼吸性粉塵濃度

		採樣人員或地點			
		背景區域 採樣	刨刀確認 員	駕駛員	人孔確認 員
路線 1	總粉塵	0.167	5.43	4.13	0.87
	可呼吸性粉塵	0.081	2.51	1.95	0.31
路線 2	總粉塵	0.096	2.32	6.17	0.68
	可呼吸性粉塵	0.041	0.95	2.81	0.25
路線 3	總粉塵	0.082	3.21	8.68	2.08
	可呼吸性粉塵	0.031	1.08	2.34	0.9
路線 4	總粉塵	0.157	4.56	4.95	-
	可呼吸性粉塵	0.095	1.79	2.38	-
路線 5	總粉塵	0.159	-	3.65	0.93
	可呼吸性粉塵	0.083	-	1.53	0.42
路線 6	總粉塵	0.138	4.38	4.11	-
	可呼吸性粉塵	0.073	2.15	2.01	-
路線 7	總粉塵	0.095	2.59	3.31	0.63
	可呼吸性粉塵	0.043	1.25	1.98	0.31
路線 8	總粉塵	0.095	1.14	0.55	0.41
	可呼吸性粉塵	0.045	0.51	0.22	0.18
路線 9	總粉塵	0.095	0.73	0.96	0.25
	可呼吸性粉塵	0.045	0.29	0.37	0.11
路線 10	總粉塵	0.095	0.53	0.89	0.26
	可呼吸性粉塵	0.045	0.32	0.41	0.19
路線 11 (快速道路)	總粉塵	-	1.67	1.53	-
	可呼吸性粉塵	-	0.72	0.46	-

註<sup>1</sup>：“-”代表未採樣檢測

表 50 彙整各刨路路段可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度

		採樣人員或地點			
		背景區域採 樣	刨刀確認員	駕駛員	人孔確認員
可呼吸 性結晶 型游離 二氧化 矽濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	路線 1	ND	0.80(0.28)*	0.60(0.27)*	ND
	路線 2	ND	0.42(0.24)*	1.37(0.23)*	ND
	路線 3	ND	0.45(0.23)*	1.38(0.19)*	ND
	路線 4	ND	0.85(0.28)*	0.86(0.23)*	-
	路線 5	ND	-	0.69(0.23)*	ND
	路線 6	ND	0.86(0.26)*	0.86(0.25)*	-
	路線 7	ND	0.54(0.22)*	0.93(0.21)*	0.098(0.27)*
	路線 8	ND	ND	0.11(0.39)*	ND
	路線 9	ND	0.17(0.38)*	0.25(0.30)*	ND
	路線 10	ND	0.12(0.30)*	0.23(0.27)*	ND
	路線 11 (快速道路)	-	0.30(0.33)*	0.17(0.43)*	-

註<sup>1</sup>：刮號內為法規標準容許濃度

註<sup>2</sup>：\*為第一種粉塵；ND 表示低於檢量下限濃度；“-”代表未採樣檢測

表 51 為彙整 11 個刨路路段之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度，整體而言，背景中可呼吸性結晶型游離二氧化矽均是未檢出的；在人孔確認員的部分，除了路線 7 之外，都未檢出可呼吸性結晶型游離二氧化矽，不過其呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度也是低於法規標準的；刨刀確認員與駕駛員之可呼吸性結晶型游離二氧化矽採樣濃

度在 0.11~1.38 mg/m<sup>3</sup> 間，若以採樣時間推估 8 小時時量平均濃度可以發現，52.4%濃度是高於容許暴露標準。

表 51 刨路作業人員總粉塵、可呼吸性粉塵和可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度之比較

	背景值	刨刀確認員	駕駛員	人孔確認員
總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	0.12±0.03 (0.08-0.17) n=10	2.66±1.71 (0.53-5.43) n=10	3.54±2.50 (0.55-8.68) n=11	0.76±0.59 (0.25-2.08) n=8
可呼吸性粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	0.06±0.02 (0.03-0.10) n=10	1.16±0.77 (0.29-2.51) n=10	1.50±0.95 (0.22-2.81) n=11	0.33±0.25 (0.11-0.90) n=8
可呼吸性結晶 型游離二氧化 矽(mg/m <sup>3</sup> )	ND (n10)	0.50±0.29 (0.12-0.86) n=9	0.68±0.46 (0.11-1.38) n=11	0.10 n=1

在可呼吸性結晶型游離二氧化矽部分，刨刀確認員、駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽平均濃度為 0.50±0.29 mg/m<sup>3</sup>、0.68±0.46 mg/m<sup>3</sup>，無統計上的顯著差異 ( $p=0.263$ )。背景區域採樣和人孔確認員大部分樣本則未檢測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽。

以文獻來看，Valiante et al. (2004)對於道路修理作業人員進行結晶型游離二氧化矽個人採樣，作業人員的類型包含操作手持式鑿岩機、鋸切混凝土、銑刨混凝土、清理混凝土、研磨瀝青、清理瀝青及鑽孔。結果顯示結晶型游離二氧化矽平均濃度範圍為 ND-1.15 mg/m<sup>3</sup>[25]。Linch 等人(2002)對於瀝青/混凝土道路的刨路作業人員進行可呼吸性粉塵和結晶型游離二氧化矽的採樣，結果指出刨路工人結晶型游離二氧化矽的八小時時量平均暴露濃度為 0.36 mg/m<sup>3</sup> 與 0.10 mg/m<sup>3</sup>，超過 NIOSH REL 標準(0.05 mg/m<sup>3</sup>)的 7 倍及 2 倍[26]。

與文獻相比，目前採樣結果與 Valiante et al. (2004)之結果是相接近的，顯示目前台灣刨路作業產生之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度與國外刨路作業產生之可呼吸性結晶型游離二氧化矽特性是相近的。

本研究於路線 12、路線 13、路線 14 和路線 15 共進行四場防制設備研究，其防制效果如表 52。在路線 12 部分，於駕駛座前方加裝噴水設備，並採集人孔確認員、刨刀確認員、駕駛員和背景區域之總粉塵、可呼吸性粉塵、可呼吸性結晶型游離二氧化

矽濃度，結果顯示人孔確認員、刨刀確認員、駕駛員和背景區域之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度分別為 0.17 mg/m<sup>3</sup>、0.4 mg/m<sup>3</sup>、0.33 mg/m<sup>3</sup>、ND。

表 52 噴水防制設備對於刨除作業人員總粉塵、可呼吸性粉塵和可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露去除之效果

	噴霧開啟	總粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性 粉塵 (mg/m <sup>3</sup> )	可呼吸性結 晶型游離二 氧化矽 (mg/m <sup>3</sup> )
刨刀確認員 13	開啟	0.75	0.38	ND
刨刀確認員 14	無開啟	1.51	0.77	ND
	開啟	0.51	0.28	ND
	去除效率	66.2%	63.6%	-
刨刀確認員 15	無開啟	2.57	1.16	0.66
	開啟	0.93	0.44	ND
	去除效率	63.8%	62.1%	>99.9%
駕駛員 12	開啟	1.91	0.98	0.33
駕駛員 13	開啟	0.2	0.091	ND
駕駛員 14	無開啟	1.56	0.68	0.26
	開啟	0.43	0.19	ND
	去除效率	72.4%	72.1%	>99.9%
駕駛員 15	無開啟	2.38	1.01	0.57
	開啟	0.28	0.13	ND
	去除效率	88.2%	87.1%	>99.9%

在路線 13 到路線 15 部分，除了於駕駛座前方加裝噴水設備外，在刨刀滾筒附近也增加一組噴水設備，並只針對刨刀確認員、駕駛員進行空氣個人採樣。路線 13 的結果顯示刨刀確認員、駕駛員皆未檢測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽。路線 14 和路線 15 的結果顯示在噴水設備啟動運轉後，刨刀確認員、駕駛員亦皆未檢測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽。

從路線 13 到路線 15 部分的現場結果可以得知，同時在駕駛座前方與刨刀滾筒加裝噴水設備，對於降低或避免駕駛員、刨刀確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露的效果是非常好的，這些路線的駕駛員、刨刀確認員在噴水設備啟動運轉後，其空氣樣本皆未檢測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽。

此外，本研究於路線 14、路線 15，於噴水設備啟動前、啟動後，分別測定刨刀確認員、駕駛員之總粉塵、可呼吸性粉塵、可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露情形，以評估銑刨機加裝噴水設備之防制去除效果。對路線 14、路線 15 的駕駛員而言，噴水設備對於總粉塵、可呼吸性粉塵、可呼吸性結晶型游離二氧化矽的去除效果分別為 66.2-72.4、63.6-72.1%、>99.9%。對路線 15 的刨刀確認員而言，噴水設備對於總粉塵、可呼吸性粉塵、可呼吸性結晶型游離二氧化矽的去除效果分別為 63.8-88.2%、62.1%-87.1%、>99.9%。去除效果在總粉塵及可呼吸性粉塵相近，但在可呼吸性結晶型游離二氧化矽則呈現較高的情形，推測其原因可能因為在可呼吸性結晶型游離二氧化矽的採樣方法建議最小採樣體積為 400L，而在總粉塵及可呼吸性粉塵最小採樣體積只需 10-20L，受限於現場作業情形所以採樣時間並不長，採樣體積不足可能造成噴霧後無法測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽，但噴霧前可測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽，因此仍可發現噴霧後確實降低的趨勢，但實際去除效果可進行更多長時間測試釐清。

進一步將各路線未進行噴霧可呼吸性結晶型游離二氧化矽採樣結果，推估 8 小時時量平均濃度，將濕度及現場風速等變項加入進行迴歸分析，經檢定後發現風速會影響可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度，且有統計上的差異(係數為-0.075， $p<0.05$ )，說明現場風速較高，作業人員暴露量會較低。

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

- 一、在總粉塵及可呼吸性粉塵部分，刨刀確認員、駕駛員和人孔確認員總粉塵平均濃度，皆明顯高於背景區域採樣值。另外，刨刀確認員、駕駛員總粉塵暴露濃度皆高於人孔確認員，有統計上的顯著差異。
- 二、在可呼吸性結晶型游離二氧化矽部分，刨刀確認員、駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽平均濃度，無統計上的顯著差異。背景區域採樣和人孔確認員大部分樣本則未檢測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽。刨刀確認員、駕駛員可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露顯著高於背景區域採樣和人孔確認員
- 三、未進行噴霧前刨刀確認員與駕駛員之可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度在 0.11~1.38 mg/m<sup>3</sup> 間，進一步推估 8 小時時量平均濃度，52.4%濃度是高於容許暴露標準。
- 四、採樣現場風速較高，作業人員可呼吸性結晶型游離二氧化矽濃度暴露量會較低。
- 五、從路線 13 到路線 15 部分的現場結果可以得知，同時在駕駛座前方與刨刀滾筒加裝噴霧系統利用 8 個噴嘴、泵浦馬力為 750W，在 70 psi 輸出壓力下，噴霧出水量為每分鐘 200 cc，對於降低或避免駕駛員、刨刀確認員可呼吸性結晶型游離二氧化矽暴露是有效的，在噴水設備啟動運轉後，其空氣樣本皆未檢測出可呼吸性結晶型游離二氧化矽。
- 六、受訪對象在曾罹患疾病方面，以曾經發生熱中暑的比率最高 (16.7%)。自覺之健康症狀在眼睛方面，經常及總是 (每週 3 天以上)「眼睛疲勞」症狀的比率較其他項目高 (13.3%)。在呼吸道方面，經常及總是「鼻塞、流鼻水或鼻竇炎」(16.7%) 較其他項目高。在皮膚方面，經常及總是「濕疹」症狀的比率較其他項目高 (10.0%)。在其他症狀方面，經常及總是「肩頸及背部僵硬疼痛」症狀的比率最高 (36.6%)。
- 七、工作時以從未戴口罩及手套最多 (50.0%和 36.7%)。在口罩使用種類方面，以活性碳口罩最多 (47.1%)，其次為布口罩 (29.4%)。在防護手套部份，全部皆穿戴

布手套。

## 第二節 建議

- 一、 刨路作業人員在個人防護選擇上多以活性碳口罩與布口罩為主，但由採樣結果可知在刨路作業環境中存在結晶型游離二氧化矽，且可能超過容許暴露標準，若未有灑水或集塵控制措施，僅以活性碳口罩尚不足以防護，建議仍應選用更高效能之防塵口罩。
- 二、 就水噴霧抑制模組來看，模組 2 對於刨路產生的結晶型游離二氧化矽的確有達到抑制的作用，不過目前在計畫中由於受限測試時間及廠商意願，因此僅進行 2 次開啟前後之比較測試，樣本數並不大，有必要在未來進行更多測試調整，進以推廣水噴霧刨路粉塵抑制系統。
- 三、 計畫中未噴霧的個人採樣結果顯示，52.4%濃度是高於我國容許暴露標準，其餘有檢測出的濃度仍是高於美國或歐盟的結晶型游離二氧化矽之法規標準，俟控制技術成熟後，或可參考各國管制情形考量調整結晶型游離二氧化矽之粉塵濃度標準，對於作業人員粉塵中結晶型游離二氧化矽的防護推動，可能更有助益。
- 四、 受訪對象在曾罹患疾病方面，以曾經發生熱中暑較常見，雖然比率不高，但建議工作時仍須注意防曬，補充水分，安排適度休息。
- 五、 藉由水噴霧系統的導入，研究發現目前水噴霧系統對於粉塵與結晶型游離二氧化矽的抑制效能是有效的，且費用是具有實際推動的可行性；目前主要問題在於刨路機並未具有插座，因此在供電上必須另外使用發電機，後續建議與刨路機廠商瞭解如何能使用機器本身電源或其他方式，以增加推廣可行性。
- 六、 由結果可知，刨路作業人員可能暴露於結晶型游離二氧化矽之環境，建議針對作業人員在個人防護上以及機具改善進行溝通推廣，後續可規劃邀請相關產業工會及公會進行推動與溝通，以降低作業人員暴露情形。

## 誌謝

本研究參與人員包括中信金融管理學院楊心豪教授及義守大學張富貴教授研究團隊等人，在此深表感激。在研究過程中，感謝配合訪視相關廠家及參與本計畫審查之所有委員提供寶貴的審查意見，使本研究更臻於完善，謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] Craighead J. Diseases associated with exposure to silica and nonfibrous silicate minerals. Arch. Pathol. Lab. Med 1988; 112(7): 673-720.
- [2] Hnizdo E, Vallyathan V. Chronic obstructive pulmonary disease due to occupational exposure to silica dust : a review of epidemiological and pathological evidence. Occup. Environ. Med 2003; 60(4): 237-243.
- [3] Milovanović A, Nowak D, Milovanović A, Hering KG, Kline JN, Kovalevskiy E, Kundiev YI, Peruničić B, Popević M, Šuštran B, Nenadović M. Silicotuberculosis and silicosis as occupational diseases : report of two cases. Srp. Arh. Celok. Lek. 2011; 139(7-8) : 536-539.
- [4] Steenland K, Goldsmith DF. Silica exposure and autoimmune diseases. Am. J. Ind. Med. 1995; 28(5): 603-608.
- [5] Vupputuri S, Parks CG, Nylander-French LA, Owen-Smith A, Hogan SL, Sandler DP. Occupational silica exposure and chronic kidney disease. Ren. Fail. 2012; 34(1): 40-46.
- [6] Chapman E. Acute Silicosis. JAMA 1932; 98 : 1439.
- [7] IARC, 2009. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Lyon, France : Vol. 100C : Metals, Particles and Fibres.
- [8] 公共工程委員會：瀝青混凝土路面施工及檢驗基準。公共工程品管教育訓練教材；2003。
- [9] 行政院公共工程委員會：瀝青混凝土鋪面。施工綱要規範第 02742 章；2013。
- [10] 行政院公共工程委員會：密級配改質瀝青混凝土鋪面。施工綱要規範第 02796 章；2013。
- [11] 行政院公共工程委員會：瀝青黏層。施工綱要規範第 02747 章；2011。
- [12] NIOSH, 1994. National institute of occupational safety and health, manual of analytical methods. Method 7602, Silica Crystalline by IR.
- [13] Steenland K, Goldsmith DF. Silica exposure and autoimmune diseases. Am. J. Ind. Med. 1995; 28(5): 603-608.
- [14] Buechner HA, Ansari A. Acute silico-proteinosis. A new pathologic variant of acute silicosis in sandblasters, characterized by histologic features resembling alveolar

- proteinosis. *Dis Chest* 1969; 55: 274.
- [15] Cohen RA, Patel A, Green FH. Lung disease caused by exposure to coal mine and silica dust. *Semin Respir Crit Care Med* 2008; 29: 651.
- [16] Wang XR, Christiani DC. Respiratory symptoms and functional status in workers exposed to silica, asbestos, and coal mine dusts. *J Occup Environ Med* 2000; 42: 1076.
- [17] Leung CC, Yu IT, Chen W. Silicosis. *Lancet* 2012; 379: 2008.
- [18] Liu Y, Steenland K, Rong Y, Hnizdo E, Huang X, Zhang H, Shi T, Sun Y, Wu T, Chen W. Exposure-Response Analysis and Risk Assessment for Lung Cancer in Relationship to Silica Exposure : A 44-Year Cohort Study of 34,018 Workers. *Am J Epidemiol.* 2013;178(9): 1424-1433.
- [19] Hughes JM, Weill H, Rando R, et al. Cohort mortality study of North American industrial sand workers. II. Case-referent analysis of lung cancer and silicosis deaths. *Ann Occup Hyg* 2001; 45(3): 201-7.
- [20] Cassidy A, 't Mannetje A, van Tongeren M, et al. Occupational exposure to crystalline silica and risk of lung cancer : a multicenter case-control study in Europe. *Epidemiology* 2007; 18(1): 36-43.
- [21] Soutar CA, Robertson A, Miller BG, et al. Epidemiological evidence on the carcinogenicity of silica: factors in scientific judgement. *Ann Occup Hyg* 2000; 44: 3-14.
- [22] Ulm K, Waschulzik B, Ehnes H, Guldner K, Thomasson B, Schwebig A, Nuß H. Silica dust and lung cancer in the German stone, quarrying, and ceramics industries: results of a case-control study. *Thorax* 1999; 54(4): 347-351.
- [23] Kurihara N, O Wada. Silicosis and smoking strongly increase lung cancer risk in silica-exposed workers. *Industrial health* 2004; 42(3): 303-14.
- [24] Pelucchi C, Pira E, Piolatto G, Coggiola M, Carta P, La Vecchia C. Occupational silica exposure and lung cancer risk : a review of epidemiological studies 1996-2005. *Annals of Oncology* 2006;17(7): 1039-50.
- [25] IARC, International Agency for Research on Cancer: IARC Monograph on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 68, Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils. IARC, Lyon, France (1997).
- [26] U.S. National Institute for Occupational Safety and Health: Hazard Review: Health

Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica. DHHS, NIOSH, Cincinnati, OH (2002).

- [27] 陳秋蓉、毛義方、陳美蓮：道路柏油鋪設作業勞工健康危害評估研究。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2003。
- [28] 王櫻芳：瀝青拌合至鋪面過程各階段之 PAHs 逸散特徵與鋪面勞工之暴露評估。成功大學環境醫學研究所學位論文；2002。
- [29] 劉玉文：勞工噪音振動危害暴露-子計劃 1：營造勞工之噪音與振動危害暴露。嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告；2004。
- [30] 陳瑋俊：永續之石膠泥瀝青混凝土開發研究。中臺科技大學安全與防災科技研究所學位論文；2011。
- [31] Rappaport SM, Goldberg M, Susi PAM, Herrick RF. Excessive exposure to silica in the US construction industry. *Annals of Occupational Hygiene* 2003; 47(2): 111-122.
- [32] Valiante DJ, Schill DP, Rosenman KD, Socie E. Highway repair: a new silicosis threat. *American journal of public health* 2004; 94(5): 876-880.
- [33] Linch KD. Respirable concrete dust--silicosis hazard in the construction industry. *Applied occupational and environmental hygiene* 2002; 17(3): 209-221.
- [34] Blute NA, Woskie SR, Greenspan CA. Exposure Characterization for Highway Construction Part I: Cut and Cover and Tunnel Finish Stages. *Applied occupational and environmental hygiene* 1999; 14(9): 632-641.
- [35] Woskie SR, Kalil A, Bello D, Virji MA. Exposures to quartz, diesel, dust, and welding fumes during heavy and highway construction. *AIHA Journal* 2002; 63(4): 447-457.
- [36] Freund A, Zuckerman N, Baum L, Milek D. Submicron particle monitoring of paving and related road construction operations. *Journal of occupational and environmental hygiene* 2012; 9(5): 298-307.
- [37] Beaudry C, Lavoué J, Sauvé JF, Bégin D, Senhaji Rhazi M, Perrault G, Dion C, Gérin M. Occupational exposure to silica in construction workers: a literature-based exposure database. *Journal of occupational and environmental hygiene* 2013; 10(2): 71-77.
- [38] Hammond DR, Cecala AB, Colinet JF, Garcia A., Mead KR, Echt A, ... & Zimmer JA. (2015). Best practice engineering control guidelines to control worker exposure to respirable crystalline silica during asphalt pavement milling.
- [39] NIOSH [2013b]. Control technology for crystalline silica exposure during pavement

- milling using a Roadtec milling machine equipped with a local exhaust ventilation system. By Hammond DR, Shulman SA Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-25a
- [40] NIOSH [2013c]. Control technology for crystalline silica exposure during pavement milling using a Wirtgen milling machine equipped with a vacuum cutting system. By Hammond DR, Shulman SA. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-23a
- [41] NIOSH [2011c]. Dust-control technology for asphalt-pavement milling controlled-site testing at State Highway 47, Bonduel, Wisconsin. By Hammond DR, Blade LM, Shulman SA, Zimmer J, Cecala AB, Joy GJ, Lo LM, Chekan GJ. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-18a
- [42] NIOSH [2012]. A laboratory evaluation of a local exhaust ventilation system on a Caterpillar cold milling machine at Caterpillar, Minnesota. By Hammond DR, Garcia A, Henn S, Shulman SA. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-22a
- [43] NIOSH [2013a]. A laboratory evaluation of a local exhaust ventilation system on a Roadtec cold milling machine at Roadtec, Chattanooga, Tennessee. By Hammond DR, Garcia A, Shulman SA. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-21a
- [44] ACGIH [2013b]. Industrial ventilation: a manual of recommended practice for design. 28th edition. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- [45] Plog BA, Quinlan PJ [2002]. Fundamentals of industrial hygiene. 5th edition. Itasca, IL: National Safety Council.
- [46] NIOSH [2010]. Information circular 9521: best practices for dust control in metal/nonmetal mining. By Colinet JF, Cecala AB, Chekan GJ, Organiscak JA, Wolfe AL. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for

Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2010-132.

- [47] NIOSH [2011d]. In-depth survey report: dust-control technology for asphalt pavement milling. By Blade LM, Shulman SA, Cecala A, Chekan G, Zimmer J, Garcia A, Lo LM, Calahan J. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-17a
- [48] NIOSH [2007a]. In-depth survey of dust control technology for asphalt milling, at Northeast Asphalt, Inc., state routes 22 and 64 projects, Wisconsin. By Echt A, Garcia A, Shulman S, Colinet J, Cecala A, Carlo RV, Zimmer J. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-12a
- [49] NIOSH [2009b]. In-depth field evaluation: dust-control technology for asphalt pavement milling, at South Dakota Highway 79 resurfacing project, Buffalo Gap, South Dakota, August 15 through 17, 2006. By Blade LM, Garcia A, Shulman SA, Colinet J, Chekan G. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-14a
- [50] NIOSH [2011c]. Dust-control technology for asphalt-pavement milling controlled-site testing at State Highway 47, Bonduel, Wisconsin. By Hammond DR, Blade LM, Shulman SA, Zimmer J, Cecala AB, Joy GJ, Lo LM, Chekan GJ. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-18a
- [51] NIOSH [2013d]. Evaluation of a Volvo milling machine equipped with a wet drum designed to reduce respirable crystalline silica exposure during pavement milling. By Hammond DR, Kovein R, Shulman SA. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, EPHB Report No. 282-24a
- [52] Echt AS, Sanderson WT, Mead KR, Feng, HA, Farwick DR, Farwick DR. Effective dust control systems on concrete dowel drilling machinery. *Journal of occupational and environmental hygiene* 2016;13(9): 718-724.
- [53] Hammond DR, Shulman SA, Echt AS. Respirable crystalline silica exposures during

asphalt pavement milling at eleven highway construction sites. *Journal of occupational and environmental hygiene* 2016; 13(7): 538-548.

- [54] 鐘順輝：含結晶型游離二氧化矽粉塵，容許濃度怎麼訂。勞動及職業安全衛生簡訊 2016；10：12-15。

# 附錄一

## 刨路作業現場環境及作業人員健康問卷

### A、基本資料

1. 性別： 男  女
2. 工作職稱：\_\_\_\_\_
3. 年齡：\_\_\_\_\_歲
4. 您的婚姻狀況： 單身  已婚
5. 教育程度： 國小及國小以下  國中(初中)  高中職  大學(大專)  研究所以上
6. 在此機構工作年資： 1年以下  1-2年  3-4年  5-6年  7-8年  
 9年以上
7. 從事刨路工作年資(在不同機構也一併合算)：\_\_\_\_\_
8. 平均一星期工作時數：\_\_\_\_\_小時
9. 一般正常上班時段(例如：8：00 AM~5：00 PM)：\_\_\_\_\_
10. 過去一個月中在主要工作場所(刨路作業現場環境)之每天工作時間 (請依頻率來勾選)：
  - 從未  每天少於 2 小時  每天 2~4 小時  每天 5~8 小時
  - 每天高於 8 小時

### B、個人健康狀況

1. 您在此工作環境(刨路作業現場環境)工作後是否曾患有下列經醫師診斷過的疾病或因工作就診的疾病(請勾選)：

疾病種類(醫師診斷)			您認為疾病是否與工作環境有關 (無症狀可不填)		
	是	否	不知道/不清楚	是	否
<b>呼吸道疾病</b>					
1.肺炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.塵肺病	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.慢性支氣管炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.氣喘	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.過敏性鼻炎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>熱危害疾病</b>					
	是	否	不知道/不清楚	是	否
1.熱中暑	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.熱衰竭	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.熱痙攣	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.失水	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. 自覺症狀(過去一個月在工作時發生的症狀，依發生頻率來勾選)

症狀種類	從未 (沒有)	很少 (每週1天 以下)	偶爾 (1~2天/ 週)	經常 (3~4天/ 週)	總是 (5~7天/ 週)	當離開工作場所 後，症狀是否減輕	
a. 眼睛方面						是	否
1.眼睛紅腫	<input type="checkbox"/>						
2.分泌物較多	<input type="checkbox"/>						
3.眼睛疲勞	<input type="checkbox"/>						
4.眼睛乾癢或 刺激	<input type="checkbox"/>						
症狀種類	從未 (沒有)	很少 (每週1天 以下)	偶爾 (1~2天/ 週)	經常 (3~4天/ 週)	總是 (5~7天/ 週)	當離開工作場所 後，症狀是否減輕	
b. 呼吸道方面						是	否
1.喉嚨乾澀	<input type="checkbox"/>						
2.鼻塞、流鼻水 或鼻竇炎	<input type="checkbox"/>						
3.咳嗽	<input type="checkbox"/>						
4.有痰	<input type="checkbox"/>						
5.呼吸急促	<input type="checkbox"/>						
6.喘鳴	<input type="checkbox"/>						
7.胸悶	<input type="checkbox"/>						
症狀種類	從未 (沒有)	很少 (每週1天 以下)	偶爾 (1~2天/ 週)	經常 (3~4天/ 週)	總是 (5~7天/ 週)	當離開工作場所 後，症狀是否減輕	
c. 皮膚方面						是	否
1.紅腫	<input type="checkbox"/>						
2.水泡	<input type="checkbox"/>						
3.脫皮脫屑	<input type="checkbox"/>						
4.乾燥及發癢	<input type="checkbox"/>						
5.濕疹	<input type="checkbox"/>						
症狀種類	從未 (沒有)	很少 (每週1天 以下)	偶爾 (1~2天/ 週)	經常 (3~4天/ 週)	總是 (5~7天/ 週)	當離開工作場所 後，症狀是否減輕	
d. 其他方面						是	否
1.異常的疲倦	<input type="checkbox"/>						
2.常有昏睡感	<input type="checkbox"/>						
3.緊張、易怒或 焦躁	<input type="checkbox"/>						
4.肩頸及背部 僵硬疼痛	<input type="checkbox"/>						
5.記憶力減退	<input type="checkbox"/>						
6.頭昏眼花	<input type="checkbox"/>						
7.感覺沮喪	<input type="checkbox"/>						

8.噁心反胃	<input type="checkbox"/>						
9.頭痛	<input type="checkbox"/>						
10.手腕麻木	<input type="checkbox"/>						

3. 和同年齡的一般人比較之下，您認為目前自己的身體健康狀況為：

- 很差  差  普通  好  很好

### C、個人防護

1. 在刨路作業現場環境工作時，個人防護的情形

項目	從未 (沒有)	很少 (每週1天 以下)	偶爾 (1~2天/ 週)	經常 (3~4天/ 週)	總是 (5~7天/週)
1.水分或電解質補充、適度休息	<input type="checkbox"/>				
2.工作時有穿上工作專用防護衣服	<input type="checkbox"/>				
3.工作時戴口罩	<input type="checkbox"/>				
4.工作時有戴手套	<input type="checkbox"/>				
5.工作結束有洗手	<input type="checkbox"/>				
6.洗手時使用一般肥皂或清潔劑	<input type="checkbox"/>				
7.配戴或使用其他防護具	<input type="checkbox"/>				

2. 使用其他防護具的種類為：\_\_\_\_\_

3. 上述所使用的防護具中，請勾選出最常使用的種類 (可複選)：

- (1) 口罩種類： 無  紙口罩  紗布口罩  活性炭口罩  
 N95 口罩  N95 以上等級口罩  外科口罩  布口罩  
 其他：
- (2) 手套種類： 無  乳膠手套  塑膠手套  布手套  抗酸鹼手套  
 其他：\_\_\_\_\_

### D、工作環境狀況

1. 同一時間，您的工作環境(刨路作業現場環境)中，平均約有多少位工作人員(包含自己)：\_\_\_\_\_位

2. 在您最主要的工作場所中(刨路作業現場環境)是否曾有積水或淹水的現象？

- 從來沒有  有時候有  經常發生  不清楚

3. 請依發生頻率評估(勾選)過去一個月中，在工作時對主要工作場所(刨路作業現場環境)的自覺感受

項目	從未 (沒有)	很少 (每週1天 以下)	偶爾 (1~2天/週)	經常 (3~4天/週)	總是 (5~7天/週)
1.風量大，會影響工作操作	<input type="checkbox"/>				
2.風量小，不影響工作操作	<input type="checkbox"/>				
3.日曬強，會刺激皮膚	<input type="checkbox"/>				
4.日曬弱，不刺激皮膚	<input type="checkbox"/>				
5.空氣潮濕	<input type="checkbox"/>				
6.空氣乾燥	<input type="checkbox"/>				
7.噪音太大	<input type="checkbox"/>				
8.感覺有震動	<input type="checkbox"/>				
9.有菸味	<input type="checkbox"/>				
10.空氣中有霉味	<input type="checkbox"/>				
11.化學藥劑或清潔劑的味道	<input type="checkbox"/>				
12.其他異味(體臭、食物發臭)	<input type="checkbox"/>				
13.粉塵燻煙	<input type="checkbox"/>				

4. 整體而言，您對於目前的工作環境(如空氣品質、環境特性等)是否滿意：

很滿意  滿意  普通  不滿意  很不滿意

5. 您對於目前的工作環境覺得舒不舒適？

很舒適  舒適  普通  不舒適  很不舒適

6. 您對於目前的工作環境之安全衛生條件滿不滿意？

很滿意  滿意  普通  不滿意  很不滿意

非常感謝您的耐心與配合!!

國家圖書館出版品預行編目資料

刨路作業人員粉塵暴露改良措施探討 / 洪柏宸等著. -- 1 版. --  
新北市：勞動部勞研所, 民 108.06  
面；公分

ISBN 978-986-05-9518-5(平裝)

1.勞工衛生 2.職業衛生

412.53 108009941

刨路作業人員粉塵暴露改善措施探討

著(編、譯)者：洪柏宸、楊心豪、張富貴、劉耀中

出版機關：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 108 年 6 月

版(刷)次：1 版 1 刷

定價：150 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話:02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「研究成果／各年度研究報告」，網址為：  
<https://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Web/YearlyReserachReports/Default>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN: 1010801324

ISBN: 978-986-05-9518-5



勞動部勞動及職業安全衛生研究所

INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號

電話：(02) 26607600

傳真：(02) 26607732

網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-05-9518-5



9 789860 595185

GPN:1010801324

定價：新台幣150元